

**ANALISA SIFAT MEKANIK UHMWPE *CROSSLINKED*
DENGAN *ELECTRON BEAM IRRADIATION* UNTUK
APLIKASI ACETABULAR CUP PADA HIP JOINT**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun oleh :

Nama : Suyatna Arian Wibowo
No. Mahasiswa : 10525020
NIRM : 2010010556

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**ANALISA SIFAT MEKANIK UHMWPE *CROSSLINKED*
DENGAN *ELECTRON BEAM IRRADIATION* UNTUK
APLIKASI ACETABULAR CUP PADA HIP JOINT**



Yogyakarta, 31 Januari 2018

Pembimbing I,

Yustiasih Purwaningrum.,ST.,M.T
NIK : 025250101

Pembimbing II,

Muhammad Khafid.,ST.,M.T
NIK : 145250101

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISA SIFAT MEKANIK UHMWPE *CROSSLINKED* DENGAN *ELECTRON BEAM IRRADIATION* UNTUK APLIKASI *ACETABULAR CUP* PADA *HIP JOINT*

TUGAS AKHIR
Disusun oleh :

Nama : Suyatna Arian Wibowo
No. Mahasiswa : 10525020
NIRM : 2010010556
Tim Penguji

Yustiasih Purwaningrum, S.T.,M.T.
Ketua
Tanggal : 7/2/2018

Santo Ajie Dhewanto, S.T.,M.M.
Anggota I
Tanggal : 7/02/2018

Arif Budi Wicaksono, S.T.,M.Eng
Anggota II
Tanggal : 7/2/2018

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiono, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

“Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam penulisan naskah ini dan disebutkan sebagai referensi. Apabila kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya sanggup menerima hukuman atau sanksi apapun sesuai hukum yang berlaku.”

Yogyakarta, 31 Januari 2018



Penulis

Suyatna Arian Wibowo

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir ini saya persembahkan untuk :

Kedua orang tua tercinta, (Alm) Mama Nurjanah atas limpahan kasih sayang semasa hidupnya dan menjadi semangat saya selama ini, Papa Suparianto yang tiada henti memberikan doa yang tulus agar penulisan tugas akhir ini selesai. Dan

Bunda Nonik yang terus memberikan semangat kepada saya.

Adik-adik saya Ayu, Yoga dan Bela yang selalu memberi semangat.

Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2010, kampus dan kosan yang telah memberikan saya motivasi dan bantuan dalam mengerjakan tugas akhir ini.

Terimakasih untuk semua bantuan, doa dan perhatiannya. Semoga ALLAH SWT melimpahkan ramat dan karunia-Nya. Amin

HALAMAN MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(QS. Al-Insyirah,6-8)

Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua.

(Aristoteles)

"Mereka berkata bahwa setiap orang membutuhkan tiga hal yang akan membuat mereka berbahagia di dunia ini, yaitu; seseorang untuk dicintai, sesuatu untuk dilakukan, dan sesuatu untuk diharapkan."

(Tom Bodett)

Life is like riding a bicycle. To stay balanced, you must keep moving.

(Albert Einstein)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah Robbilalamin, penulis mengucapkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir dengan judul **Analisa Sifat Mekanik UHMWPE Crosslinked dengan Electron Beam Irradiation untuk Aplikasi Acetabular Cup pada Hipjoint** dapat terselesaikan. Laporan ini disusun berdasarkan data-data dan kejadian ketika melaksanakan tugas akhir. Tugas akhir ini dilaksanakan untuk menempuh derajat Sarjana Teknik Mesin program strata satu (S-1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Pelaksanaan tugas akhir ini dimaksudkan agar mahasiswa dapat mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama di bangku perkuliahan, sehingga dapat memajukan cara berpikir dan kreatifitas mahasiswa.

Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bantuanya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Allah SWT, *Rabb* semesta alam yang telah memberikan nikmat iman dan Islam kepada penulis dan Nabi paling mulia Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para sahabat, para tabi'in dan tabi'in–tabi'in serta para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. (Alm) Mama, Papa dan seluruh keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi dalam menempuh pendidikan.
3. Bapak Dr.Eng Risdiyono.,S.T.,M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Ibu Yustiasih Purwaningrum., ST.,M.T selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah memberikan waktu luangnya untuk membimbing penulis.

Terimakasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

5. Bapak Muhammad Khafid.,ST.,M.T selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir yang telah memberikan waktu luangnya untuk membimbing penulis. Terimakasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Segenap Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
7. Mbak Indah selaku Front Office Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia yang telah banyak membantu untuk semua urusan administrasi selama pengerjaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
8. Mas Adi selaku laboran Jurusan Teknik Mesin FTI UII yang telah banyak membantu pengerjaan tugas akhir di Laboratorium.
9. Bapak Rifky Ismail.,ST.M.T. selaku dosen Teknik Mesin Universitas Dipenogoro yang telah berkenan membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. Bapak Lilik dan Bapak Puji selaku dosen Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang telah berkenan membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
11. Ricky Tanjung, Faisal Arif Nurgesang, Eko Kurniawan, Eko, Muhammad Syarifudin, Nanang, Kurnia dan teman-teman Mesin UII angkatan 2010 (Maquina) jaga terus semangat kalian dan buktikan bahwa kita adalah yang terhebat dan luar biasa.
12. Mhd. Arief Rahady Nst sahabat penulis yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.
13. Harry dan teman-teman kosan yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penulis.
14. Seluruh teman-teman pemain maupun pengurus UKM Futsal UII yang telah memberikan semangat kepada penulis.

15. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin FTI UII, teman-teman kampus lainnya dan untuk semua pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya dan semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan untuk orang lain.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 31 Januari 2018

Suyatna Arian Wibowo

ABSTRAK

Hipjoint adalah sambungan tulang pada bagian tulang paha (femur) dengan tulang pinggul (pelvis). Total hip replacement atau operasi penggantian hipjoint ini biasanya disebabkan oleh beberapa hal seperti faktor usia, kecelakaan, kekurangan nutrisi dan penyakit tulang. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) adalah bahan yang digunakan dalam implan buatan untuk penggantian sendi articular. Crosslinked digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus dari material UHMWPE yang dapat memperpanjang waktu pemakaian. Kekuatan mekanik material UHMWPE dapat dilihat dari pengujian kekerasan, impact dan tarik. Untuk melakukan penelitian ini dibutuhkan material UHMWPE konvensional dan UHMWPE crosslinked dengan proses electron beam irradiation. Material uji impact menggunakan ukuran ASTM D256 type 4, material uji tarik menggunakan ukuran ASTM D638 type 4 dan untuk ukuran material uji kekerasan tidak memiliki spesifikasi tertentu. Material tersebut dilakukan pengujian mekanik, selanjutnya dilakukan pendataan dan perbandingan dari material UHMWPE konvensional dan material UHMWPE crosslinked.

Hasil dari pengujian yang dilakukan terhadap material UHMWPE konvensional dan UHMWPE crosslinked dengan dosis 50 kGy, 75 Kgy dan 100 kGy yakni semakin tinggi dosis crosslinked yang diberikan maka nilai kuat tarik pada material UHMWPE akan berkurang. Semakin tinggi dosis crosslinked yang diberikan, maka semakin menurun nilai kekerasan material UHMWPE, serta akan berkurangnya tingkat ketangguhan pada material UHMWPE yang terlihat dari data yang didapat. UHMWPE konvensional lebih baik digunakan karena sifat mekanisnya meningkat, akan tetapi pemberian dosis crosslinked dapat mempengaruhi dari penurunan sifat mekanis pada material UHMWPE tersebut. Berdasarkan karakterisasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan UHMWPE konvensional dan UHMWPE crosslinked belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi.

Kata Kunci : *Hip joint, UHMWPE, Mekanik, Crosslinked, Electron Beam Irradiation*

ABSTRACT

Hipjoint are joints in the thigh bone (femur) to the pelvic bone. Total hip replacement or hipjoint replacement surgery is usually caused by several factors such as age, accident, lack of nutrition and bone disease. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) is the material used in artificial implants for the replacement of articular joints. Crosslinked is used to improve the wear resistance of the UHMWPE material that can extend the usage time. The mechanical strength of UHMWPE materials can be seen from testing the hardness, tensile and impact. To do the research required to conventional UHMWPE materials and crosslinked UHMWPE with process of irradiation electron beam. Impact test materials using ASTM D256 type 4, tensile test materials using ASTM D638 type 4 and to test the hardness of material sizes do not have certain specifications. The material performed mechanical testing, next do logging and comparison of conventional UHMWPE materials and crosslinked UHMWPE materials.

Results of the tests performed on the material of conventional UHMWPE and crosslinked UHMWPE with a dose of 50 kGy, 75 kGy and 100 kGy the higher dose of crosslinked given the value of tensile strength in UHMWPE material will be reduced. The higher dose of crosslinked is given, then the declining value of UHMWPE material hardness and toughness will be reduced at the rate of UHMWPE material that is visible from the data obtained. Conventional UHMWPE is better to used because of its increasing mechanical properties, but giving crosslinked may affect the mechanical properties of the decline in the UHMWPE material. Based on the characterization has been done, it can be concluded conventional UHMWPE and crosslinked UHMWPE not meet specifications bearing joints.

Keywords : Hip Joint, UHMWPE, Mechanical, Crosslinked, Electron Beam Irradiation

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
lembar pengesahan dosen pembimbing	ii
lembar pengesahan dosen penguji	iii
pernyataan bebas plagiarisme	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
kata pengantar	vii
Abstrak	x
Abstract	xi
Daftar Isi	xii
Daftar Tabel	xv
Daftar Gambar	xvi
Daftar Notasi	xviii
Bab 1 pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
Bab 2 tinjauan pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Sifat Mekanik	8
2.2.2 Uji Kekerasan	9
2.2.3 Uji Tarik	11
2.2.4 Uji <i>Impact</i>	12
2.3 Sambungan Tulang Pinggul (<i>Hip Joint</i>)	14
2.4 Perkembangan <i>Acetabular Cup</i>	15
2.5 UHMWPE	18

2.5.1	UHMWPE <i>Crosslinked</i>	19
Bab 3	metodologi penelitian.....	23
3.1	Alur Penelitian.....	23
3.2	Alat	24
3.2.1	<i>Electron Beam Irradiation</i>	24
3.2.2	Mesin <i>CNC Laser Cutting</i>	25
3.2.3	Alat Uji Tarik	25
3.2.4	Alat Uji Kekerasan	26
3.2.5	Mesin <i>Notching</i>	26
3.2.6	Alat Uji <i>Impact</i>	27
3.3	Bahan	27
3.3.1	UHMWPE	27
3.3.2	Spesimen Uji Tarik.....	28
3.3.3	Spesimen Uji Kekerasan.....	28
3.3.4	Spesimen Uji <i>Impact</i>	29
3.4	Proses Pengujian UHMWPE	30
3.4.1	Pemotongan Material UHMWPE.....	30
3.4.2	Peletakan UHMWPE Pada Konveyor	30
3.4.3	Pengaturan Frekuensi dan Kecepatan Konveyor Alat <i>Electron Beam Irradiation</i>	31
3.4.4	Pemberian Dosis <i>Electron Beam Irradiation</i> Sesuai dengan Variasi Penelitian.	33
3.4.5	Pengambilan Material UHMWPE Setelah Proses <i>Electron Beam Irradiation</i>	34
3.5	Proses Pengujian Sifat Mekanik	35
3.5.1	Uji Tarik	35
3.5.2	Uji Kekerasan	38
3.5.3	Uji <i>Impact</i>	39
Bab 4	hasil dan pembahasan.....	42
4.1	Proses <i>Crosslinked</i> dengan <i>Irradiation Electron Beam</i>	42
4.2	Hasil dan Pembahasan	43
4.2.1	Pengujian Tarik	44

4.2.2	Pengujian Kekerasan	48
4.2.3	Pengujian <i>Impact</i>	53
Bab 5	Kesimpulan dan saran	56
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....		58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian sedang dilakukan	7
Tabel 2.2 Karakteristik Fisik Rata-rata <i>Ultra High Molecular Weight Polyethylene</i> (UHMWPE) untuk <i>acetabular cup</i> (Sumber : Edidin A.A, dan Kurtz, S.M. 2000).	18
Tabel 2.3 Daftar radiasi dan temperatur UHMWPE. (Steven M. Kurtz, 2009)	22
Tabel 4.1 Data Hasil Keseluruhan Pengujian Tarik	45
Tabel 4.2 Data Rata-Rata dan <i>Error Bar</i> Pengujian Tarik	46
Tabel 4.3 Hasil angka kekerasan <i>vickers</i> pada spesimen UHMWPE konvensional dan UHMWPE <i>crosslinked</i>	50
Tabel 4.4 Data Rata-Rata Dan <i>Error Bar</i> Pengujian Kekerasan	51
Tabel 4.5 Sifat Mekanik Material UHMWPE untuk <i>acetabular cup</i> (Sumber : Anwar, B. 2015)	52
Tabel 4.6 Hasil Data Rata-Rata Pengujian <i>Impact</i> UHMWPE Konvensional dan <i>Crosslinked</i>	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengujian <i>vickers</i> (Callister, 2007).....	10
Gambar 2.2 Bentuk indentor <i>vickers</i> (Callister, 2007).....	10
Gambar 2.3 <i>Typical Tensile Testing Set Up</i>	11
Gambar 2.4 Pembebanan metode <i>charpy</i> dan <i>izod</i> (Dieter JR, 1988).....	14
Gambar 2.5 <i>Hip Joint</i> normal (Fessler, H. 1957)	14
Gambar 2.6 <i>Hip arthritis</i> (Fessler, H. 1957)	15
Gambar 2.7 Anatomi <i>hip joint</i> (Mattei dkk, 2011).....	16
Gambar 2.8 Desain THA dan modifikasi Dr. Charnley (McKelvogue, B. 2010)	16
Gambar 2.9 Pembentukan ikatan <i>crosslinked</i> (Steven M. Kurtz, 2009)	21
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	23
Gambar 3.2 Pengatur Kecepatan <i>Electron Beam Irradiation</i>	24
Gambar 3.3 Pengatur Dosis Radiasi <i>Electron Beam</i>	24
Gambar 3.4 Mesin <i>CNC Laser Cutting</i>	25
Gambar 3.5 Alat Uji Tarik.....	25
Gambar 3.6 Alat Uji Kekerasan	26
Gambar 3.7 Mesin <i>Notching</i>	26
Gambar 3.8 Alat Uji <i>Impact</i>	27
Gambar 3.9 UHMWPE Dalam Bentuk Lembaran	27
Gambar 3.10 Spesimen Uji Tarik Konvensional, <i>Crosslinked</i> 50 kGy, 75 kGy, Dan 100 kGy	28
Gambar 3.11 Spesimen Uji Kekerasan.....	28
Gambar 3.12 Spesimen Uji <i>Impact</i> Konvensional, <i>Crosslinked</i> 50 kGy, 75 kGy, dan 100 kGy Sebelum <i>Notching</i>	29
Gambar 3.13 Spesimen Uji <i>Impact</i> Konvensional, <i>Crosslinked</i> 50 kGy, 75 kGy, Dan 100 kGy Setelah <i>Notching</i>	29
Gambar 3. 14 Material UHMWPE Yang Telah Dilakukan Proses Pemotongan .	30
Gambar 3.15 Peletakan Material UHMWPE Pada Konveyor.....	31
Gambar 3.16 Kecepatan Konveyor Alat <i>Electron Beam Irradiation</i>	32
Gambar 3.17 Alat Pengaturan Frekuensi <i>Electron Beam Irradiation</i>	32

Gambar 3.18 Material UHMWPE Telah Dimasukkan Ke Alat <i>Electron Beam Irradiation</i>	33
Gambar 3.19 Proses Pengeluaran Spesimen UHMWPE.....	34
Gambar 3.20 Spesimen Hasil <i>Electron Beam Irradiation</i>	34
Gambar 3.21 ASTM D638 type 4 (ASTM International, 2002).....	35
Gambar 3.22 Pemotongan Material UHMWPE Dengan Mesin <i>Cnc Laser Cutting</i>	36
Gambar 3.23 Material Setelah Pemotongan	36
Gambar 3.24 Proses Pengujian Tarik	37
Gambar 3.25 Spesimen Setelah Proses Pengujian	37
Gambar 3.26 Proses Pengujian Kekerasan	38
Gambar 3.27 Spesimen Setelah Proses Pengujian	38
Gambar 3.28 ASTM D256 (ASTM International, 2004)	39
Gambar 3.29 Proses Pemotongan Material Uji <i>Impact</i>	39
Gambar 3.30 Proses <i>Notching</i>	40
Gambar 3.31 Material Setelah Proses <i>Notching</i>	40
Gambar 3.32 Proses Pengujian <i>Impact</i>	41
Gambar 3.33 Material Setelah Proses Pengujian.....	41
Gambar 4.1 Wadah Muatan <i>Electron</i>	42
Gambar 4.2 Alat Pemapar Muatan <i>Electron</i> Pada Material	43
Gambar 4.3 Material UHMWPE Setelah Proses <i>Irradiasi Electron Beam</i>	43
Gambar 4.4 Spesimen Uji Yang Dilakukan Sebanyak 3 Kali Pengujian	44
Gambar 4.5 Grafik Tegangan Berdasarkan Dosis <i>Crosslinked</i>	48
Gambar 4.6 Grafik Regangan Berdasarkan Dosis <i>Crosslinked</i>	48
Gambar 4.7 Spesimen Uji Yang Dilakukan Sebanyak 3 Titik	49
Gambar 4.8 Grafik Kekerasan Berdasarkan Dosis <i>Crosslinked</i>	52
Gambar 4.9 Spesimen Uji <i>Impact</i>	53
Gambar 4.10 Grafik <i>Izod Impact Strength</i> Berdasarkan Dosis <i>Crosslinked</i>	55

DAFTAR NOTASI

Persamaan 1.....	44
Persamaan 2.....	44
Persamaan 3.....	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tubuh manusia merupakan anugrah Tuhan Yang Maha Esa yang sangat kompleks dan penuh dengan ilmu pengetahuan dan penelitian. Salah satunya adalah konsep *hip joint*. *Hip joint* merupakan komponen penting dalam sistem kerangka manusia. *Hip joint* adalah sambungan tulang pada bagian tulang paha (*femur*) dengan tulang pelvis. *Total hip replacement* atau operasi penggantian *hip joint* ini biasanya disebabkan oleh beberapa hal seperti faktor usia, kecelakaan, kekurangan nutrisi dan penyakit tulang (*arthritis*) (Winarso, R. 2010).

Dalam keadaan normal, sendi memiliki derajat yang rendah sehingga tidak akan mudah aus, kecuali bila digunakan secara sangat berlebihan atau mengalami cedera, maka kerusakan ini disebut dengan *osteoarthritis*. *Osteoarthritis* (OA) merupakan penyakit sendi degeneratif, dimana keseluruhan struktur dari sendi mengalami perubahan patologis. Ditandai dengan kerusakan tulang rawan (kartilago), timbulnya peradangan dan melemahnya otot-otot yang menghubungkan sendi. Pada akhirnya, permukaan tulang rawan yang halus dan licin berubah menjadi kasar dan berlubang-lubang, sehingga sendi tidak lagi dapat bergerak secara halus. Semua komponen sendi akan mengalami kegagalan dan terjadi kelainan sendi. *Osteoarthritis* ini adalah penyakit pada sendi-sendi yang ada didalam tubuh seperti pada bagian sendi lutut, tangan, pinggul dan lain-lainnya (Rifhan Z, 2010).

Solusi untuk mengatasi penyebab dari *osteoarthritis* adalah dengan cara pengobatan yaitu dengan berolahraga, terapi fisik, pengobatan dan pembedahan. Olahraga yang tepat akan membantu mempertahankan kesehatan tulang rawan, meningkatkan daya gerak sendi dan kekuatan otot-otot di sekitarnya sehingga otot menyerap benturan dengan lebih baik. Terapi fisik yang sering dilakukan adalah dengan pemanasan. Untuk nyeri pada jari tangan dianjurkan merendam tangan dalam campuran parafin panas dengan minyak mineral pada suhu 47,8-52 derajat celcius atau mandi dengan air hangat. Obat merupakan aspek yang tidak terlalu penting. Obat nyeri mungkin merupakan satu-satunya obat yang

diperlukan. Jika pengobatan lainnya gagal bisa dilakukan pembedahan. Beberapa sendi (terutama sendi pinggul dan lutut) bisa diganti dengan sendi buatan. Tindakan ini biasanya berhasil dan hampir selalu bisa memperbaiki fungsi dan pergerakan sendi, serta mengurangi nyeri. Karena itu jika fungsi sendi menjadi terbatas, maka dianjurkan untuk menjalani penggantian sendi (Terapisehat, 2010)

Total hip replacement (THR) telah mengalami keberhasilan klinis lebih dari 50 tahun, dengan desain dasar komponen femoral metalik yang diartikulasikan terhadap *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) yang sebagian besar tidak berubah dari implan buatan modifikasi Dr. Charnley. Pada saat ini, telah terjadi serangkaian masalah teknis dalam perwujudan desain implan yang dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan mekanis (Biomaterials, 2009).

Menurut Stein, H. L. (1998) *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) adalah bagian dari polyethylene termoplastik. Juga dikenal sebagai *polyethylene* modulus tinggi, atau *polyethylene* kinerja tinggi (HPPE), memiliki rantai yang sangat panjang, dengan massa molekul biasanya antara 2 dan 6 juta. Semakin lama rantai berfungsi untuk mentransfer beban lebih efektif untuk tulang punggung polimer dengan memperkuat interaksi antarmolekul. Hal ini menghasilkan bahan yang sangat tangguh, dengan kekuatan impak tertinggi dari setiap termoplastik saat dibuat.

UHMWPE adalah bahan yang digunakan dalam implan buatan untuk penggantian sendi artikular. Namun, implan ini memiliki umur yang terbatas di mana pasien akan terbebas dari rasa sakit karena keausan komponen UHMWPE. Baru-baru ini material *crosslinked* atau material terhadap radiasi telah digunakan untuk memperpanjang ketahanan aus dari UHMWPE. Saat ini, penelitian sedang dilakukan pada metode lain untuk meningkatkan ketahanan aus dari UHMWPE termasuk susunan isi partikel ke dalam polimer dan pelumasan atau metode bantalan lain yang bisa membuat material lebih tahan lama seperti sendi alami (McKelvogue, 2010).

UHMWPE tidak berbau, tidak berasa, dan tidak beracun, sangat tahan terhadap bahan kimia korosif kecuali asam monoksida. Memiliki daya serap air yang sangat rendah dan koefisien yang sangat rendah gesekan dan sangat tahan

terhadap abrasi. Koefisien gesekan secara signifikan lebih rendah dari nilon dan asetal dan sebanding dengan *polytetrafluoroethylene* (PTFE, Teflon), tapi UHMWPE memiliki ketahanan abrasi yang lebih baik dari PTFE (Budinski, Kenneth G. 1997).

UHMWPE *crosslinked* adalah generasi pertama referensi *polyethylene crosslinked*, yang menunjukkan penurunan kristalinitas di bawah 51 % jika diperlakukan mencair selama atau setelah iradiasi dengan sinar gamma atau *electron beam*. Sementara akan mengurangi beberapa sifat mekanik, termasuk modulus elastisitas, kekuatan tarik, dan perpanjangan putus (Spiegelberg S, 2005).

Radiasi *Electron beam* diperkenalkan pada tahun 1950-an. Radiasi *Electron beam* adalah suatu bentuk energi ionisasi yang umumnya ditandai oleh penetrasi rendah dan tingkat dosis yang tinggi. (Sterigenics, 1994).

Pada penelitian ini akan di fokuskan pada perbandingan UHMWPE *crosslinked* dan UHMWPE konvensional atau tanpa dosis *crosslinked* dengan variasi dosis 50 kgy, 75 kgy dan 100 kgy. Oleh karena itu penulis mengangkat penelitian ini dengan judul “ANALISA SIFAT MEKANIK UHMWPE *CROSSLINKED* DENGAN *ELECTRON BEAM IRRADIATION* UNTUK APLIKASI *ACETABULAR CUP* PADA *HIP JOINT*”. Dari hasil penelitian ini nantinya akan didapatkan sifat mekanik dari uji kekerasan (*hardness*), uji *impact* dan uji tarik yang dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut tentang *hip joint*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas didapat beberapa rumusan masalah, yaitu :

1. Pengaruh *crosslinked* terhadap nilai uji kekerasan (*hardness*) pada material UHMWPE ?
2. Pengaruh *crosslinked* terhadap nilai uji impak pada material UHMWPE ?
3. Pengaruh *crosslinked* terhadap nilai uji tarik pada material UHMWPE ?

1.3 Batasan Masalah

Dari beberapa rumusan masalah diatas, penulis akan membatasi masalah yang akan di bahas pada tugas akhir kali ini, yaitu :

1. Material UHMWPE yang ada di pasaran Indonesia.
2. Alat *electron beam* yang digunakan adalah alat *electron beam* yang berada di PATIR BATAN (Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir) Jakarta.
3. Alat uji kekerasan yang digunakan adalah alat uji kekerasan yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
4. Alat uji tarik yang digunakan adalah alat uji tarik yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
5. Alat uji *impact* yang digunakan adalah alat uji *impact* yang berada di Sentra Teknologi Polimer – BPPT Tangerang Selatan Banten Indonesia.
6. Tidak membahas tentang struktur micro UHMWPE.

1.4 Tujuan Penelitian

Ada beberapa tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui perbedaan nilai uji kekerasan dari UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* dengan dosis 50 kGy, 75 kGy dan 100 kGy untuk aplikasi *acetabular cup* pada *hip joint*.
2. Untuk mengetahui perbedaan nilai uji tarik dari UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* dengan dosis 50 kGy, 75 kGy dan 100 kGy untuk aplikasi *acetabular cup* pada *hip joint*.
3. Untuk mengetahui perbedaan nilai uji impak dari UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* dengan dosis 50 kGy, 75 kGy dan 100 kGy untuk aplikasi *acetabular cup* pada *hip joint*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini nantinya diharapkan penulis dapat mengetahui dan mendapatkan perbedaan sifat mekanik dari material UHMWPE *crosslinked* dengan berbagai dosis *Electron beam* yang diberikan. Penulis berharap penelitian yang dilakukan dapat bermanfaat bagi penulis sehingga dapat digunakan untuk

penelitian lebih lanjut tentang *hip joint* secara umum juga bermanfaat bagi mahasiswa dan masyarakat luas.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dijelaskan secara singkat mengenai isi dari laporan tugas akhir ini. Yang bertujuan untuk memudahkan pemahaman pembaca tentang keseluruhan isi laporan tanpa harus membaca keseluruhan laporan. Berikut adalah uraian singkat mengenai laporan tugas akhir ini:

1. Bab I berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian.
2. Bab II berisi mengenai kajian pustaka dari hasil yang telah dicapai dari penelitian sebelumnya dan teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam pemecahan masalah pada tugas akhir ini.
3. Bab III berisi langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam tugas akhir ini.
4. Bab IV merupakan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan dan analisis pengujian.
5. Bab V berisi kesimpulan penelitian dari semua uraian yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pada penelitian lain yaitu pembentukan jalinan ikat silang (*crosslinking*) pada *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) sebagai kandidat bantalan sendi menggunakan radiasi gamma. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan, pembentukan jalinan ikat silang (*crosslinking*) pada *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) yang menggunakan radiasi gamma terjadi dengan pemberian dosis 50 kGy.

Penambahan *tocopherol* pada UHMWPE yang telah diradiasi gamma berfungsi sebagai antioksidan dan UHMWPE yang telah diradiasi gamma serta ditambahkan *tocopherol* belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi berdasarkan sifat mekanik yang diperoleh yaitu modulus elastisitas, kuat tarik, dan perpanjangan putus (Viorita, M. Siswanto. & Supardi, A. 2014).

Telah banyak penelitian tentang *artificial hip joint* yang telah dilakukan oleh beberapa mahasiswa maupun dosen dari berbagai perguruan tinggi lain maupun juga tentang *crosslinked* terhadap material UHMWPE. Terdapat beberapa penelitian mengenai aplikasi *highly crosslinked* UHMWPE pada pemodelan *artificial hip joint system* menggunakan metode elemen hingga, yang menjelaskan tentang aplikasi *highly crosslinked* UHMWPE material sebagai *hip bearing* pada *artificial hip joint system* yang mempunyai karakteristik lebih baik bila dibandingkan dengan UHMWPE konvensional.

Pemberian *irradiation dose* yang lebih tinggi dari 50 tidak banyak berpengaruh pada penurunan *von mises stress* yang terjadi. Dari analisa tersebut menunjukkan bahwa material yang paling efektif sebagai bearing pada *hip joint system* bila dilihat dari besar *von Mises stress* yang terjadi adalah WIAM 50 (*warm-irradiation adiabatic melting*) (Winarso, R. 2010).

Rangkuman penelitian-penelitian sebelumnya mengenai *artificial hip joint* material UHMWPE dapat dilihat dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian sedang dilakukan

No	Peneliti	Judul Penelitian	Keterangan Mengenai Penelitian
1	Mayang Viorita, Siswanto, dan Ardi Supardi	pembentukan jalinan ikat silang (<i>crosslinking</i>) pada <i>ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)</i> sebagai kandidat bantalan sendi menggunakan radiasi gamma.	UHMWPE yang telah diradiasi gamma serta ditambahkan <i>tocopherol</i> belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi berdasarkan sifat mekanik yang diperoleh yaitu modulus elastisitas, kuat tarik, dan perpanjangan putus.
2	Rochmad Winarso	Aplikasi <i>highly crosslinked UHMWPE</i> pada pemodelan <i>artificial hip joint system</i> menggunakan metode elemen hingga.	<i>Artificial hip joint system</i> mempunyai karakteristik yang lebih baik bila dibandingkan dengan UHMWPE konvensional. Pemberian <i>irradiation dose</i> yang lebih tinggi dari 50 tidak banyak berpengaruh pada penurunan <i>von mises stress</i> yang terjadi.
3	Suyatna Arian Wibowo	Analisa sifat mekanik UHMWPE <i>crosslinked</i> dengan <i>electron beam irradiation</i> untuk aplikasi <i>acetabular cup</i> pada <i>hip joint</i>	Hasil pada penelitian ini adalah didapatkannya perbedaan kekuatan mekanik pada material UHMWPE konvensional dan UHMWPE <i>crosslinked</i> dengan <i>electron beam irradiation</i> untuk aplikasi <i>acetabular cup</i> pada <i>hip joint</i> .

Ada beberapa perdebatan pakar ortopedi tentang dosis maksimum yang diberikan pada material UHMWPE antara 50 kGy dan 100 kGy. Efek

menguntungkan dari dosis tersebut yakni meningkatnya ketahanan aus tetapi hal itu mempengaruhi juga dengan penurunan sifat mekanik dari material UHMWPE dalam upaya mencegah *osteolysis periprosthetic*.

Variasi dosis *electron beam irradiation* yang diberikan yaitu 50 kGy, 75 kGy dan 100 kGy pada material UHMWPE. Penggunaan variasi dosis *electron beam* tersebut dikarenakan untuk variasi dosis 50 kGy dan 100 kGy sedang banyak diperdebatkan dalam bidang ortopedi yakni tentang peningkatan ketahanan aus serta penggunaan dosis 75 kGy, dikarenakan pendapat penelitian sebelumnya yang dilakukan bahwa penambahan dosis radiasi lebih tinggi dari 50 tidak berpengaruh banyak.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sifat Mekanik

Sifat mekanik material merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya.

Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu.

Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut.

Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain kekerasan, kekuatan tarik, kekuatan impak dan sebagainya (Dieter JR, 1988).

2.2.2 Uji Kekerasan

Pengujian Kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Kekerasan adalah ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis lokal. Nilai kekerasan tersebut dihitung hanya pada tempat dilakukannya pengujian tersebut (lokal), sedangkan pada tempat lain bisa jadi kekerasan suatu material berbeda dengan tempat yang lainnya. Tetapi nilai kekerasan suatu material adalah homogen dan belum diperlakukan secara teoritik akan sama untuk tiap-tiap titik.

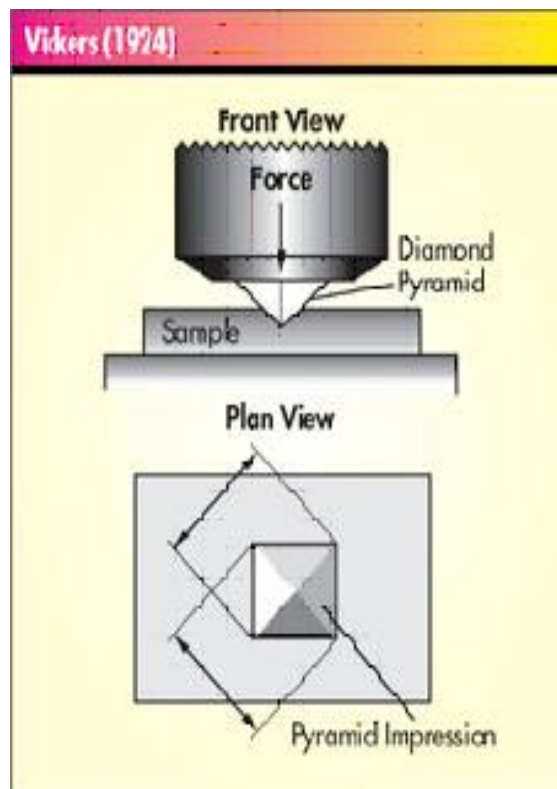
Kekerasan memiliki berbagai makna. Untuk industri logam, mungkin dianggap sebagai perlawanan terhadap deformasi permanen. Untuk metalurgi, itu berarti ketahanan terhadap penetrasi. Untuk insinyur pelumasan, itu berarti resistensi untuk memakai. Untuk insinyur desain, itu adalah ukuran dari stress aliran. Untuk mineralogi, itu berarti ketahanan terhadap goresan, dan masinis, itu berarti ketahanan terhadap mesin. Kekerasan juga dapat disebut sebagai tekanan kontak. Semua karakteristik ini berhubungan dengan aliran plastic stress dari material (Chandler H, 1999).

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penekanan.

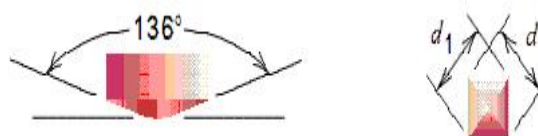
Pengujian kekerasan sangat penting, karena di dalam aplikasi manufaktur pada material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu (Callister, 2007).

Pada pengujian kekerasan ini digunakan metode *vickers*. Dengan metode ini bertujuan menentukan kekerasan suatu material yaitu daya tahan material

terhadap indenter intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 dibawah ini. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian *rockwell* dan *brinell* yaitu antara 1 sampai 1000 gram. Angka kekerasan *vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (P) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indenter (diagonalnya) (A) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$ (Callister, 2007).



Gambar 2.1 Pengujian *vickers* (Callister, 2007)



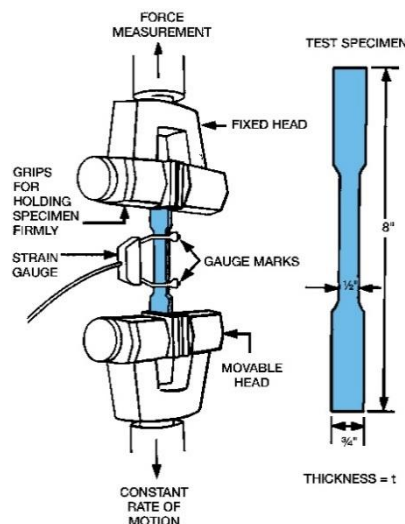
Gambar 2.2 Bentuk indenter *vickers* (Callister, 2007)

2.2.3 Uji Tarik

Uji tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Kekuatan Ultimate tarik (UTS), sering disingkat menjadi kekuatan tarik (TS) atau kekuatan ultimate adalah tegangan maksimum yang materialnya dapat menahan ketika sedang diregangkan atau ditarik sebelum gagal atau putus. Kekuatan tarik adalah tidak sama dengan kekuatan tekan dan nilai-nilainya bisa sangat berbeda (Roylance, 2008).

Kekuatan tarik didefinisikan sebagai *stress*, yang diukur sebagai gaya per satuan luas. Untuk beberapa bahan *non-homogen* (atau komponen dirakit) dapat diartikan hanya sebagai kekuatan atau sebagai gaya per satuan lebar. Dalam Satuan Internasional (SI), satuannya adalah pascal (Pa) atau megapascal (MPa), atau sama dengan pascal, newton per meter persegi (N/m^2). Sebuah satuan Amerika Serikat adalah pound per inci persegi (lbf/in^2 atau psi), atau kilo-pon per inci persegi (ksi) atau KPSI, yang sama dengan 1000 psi kilo-pound per inci persegi yang umum digunakan ketika mengukur kekuatan tarik.

Biasanya, pengujian melibatkan beberapa sampel kecil dengan luas penampang tetap, dan kemudian menariknya dengan tensometer di sebuah regangan konstan yaitu perubahan panjang ukur dibagi dengan panjang ukur awal (Roylance, 2008).



Gambar 2.3 Typical Tensile Testing Set Up

Pada Gambar 2.3 di halaman sebelumnya merupakan contoh dari mekanisme proses pengujian tarik. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi dengan benar. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur. Hasil uji tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara tegangan-regangan yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan. Mesin uji tarik sering diperlukan dalam kegiatan *engineering* untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Mesin uji tarik terdiri dari beberapa bagian pendukung utama, diantaranya kerangka, mekanisme pencekam spesimen, sistem penarik dan sistem pengukur (Salindeho RD, dkk. 2013).

2.2.4 Uji Impact

Menurut Dieter JR, (1988) uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya.

Uji *impact* adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian *impact* merupakan pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian *impact* dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian *impact* juga merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam peralatan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan, melainkan datang secara tiba-tiba, contoh deformasi pada bumper mobil pada saat terjadinya tumbukan kecelakaan.

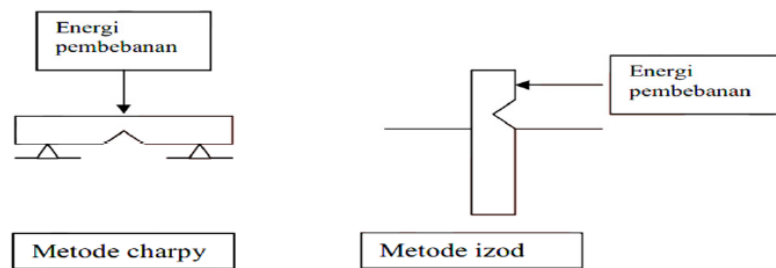
Pada pengujian *impact* ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan *impact* atau ketangguhan bahan tersebut. Sifat keuletan suatu bahan dapat diketahui dari pengujian tarik dan pengujian *impact*, tetapi dijelaskan diatas adalah secara tiba-tiba, sedangkan

pada pengujian tarik adalah perlahan-lahan. Dari hasil pengujian tarik dapat disimpulkan perkiraan dari hasil pengujian impact. Tetapi dari pengujian impact dapat diketahui sifat ketangguhan material dan harga impact untuk temperatur yang berbeda-beda, mulai dari temperatur yang sangat rendah (-30°C) sampai temperatur yang tinggi. Sedangkan pada percobaan uji tarik, temperatur kerja adalah temperatur ruangan.

Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh. Metode yang telah menjadi standar untuk uji impak ini ada 2, yaitu uji impak metode *charpy* dan metode *izod*. Untuk kedua metode tersebut bisa dilihat di Gambar 2.4 di halaman selanjutnya. Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *izod* lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji metode *charpy* memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji impak pada metode *charpy* dan metode *izod* yaitu dengan sudut 45° , kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm.

Batang uji *charpy* kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba (kecepatan pembebanan ± 5 m/s). Batang uji diberi energi sampai kemudian patah pada laju regangan yang tinggi. Batang uji *izod* lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk V yang lebih dekat pada ujung batang. Dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan (Dieter JR, 1988).

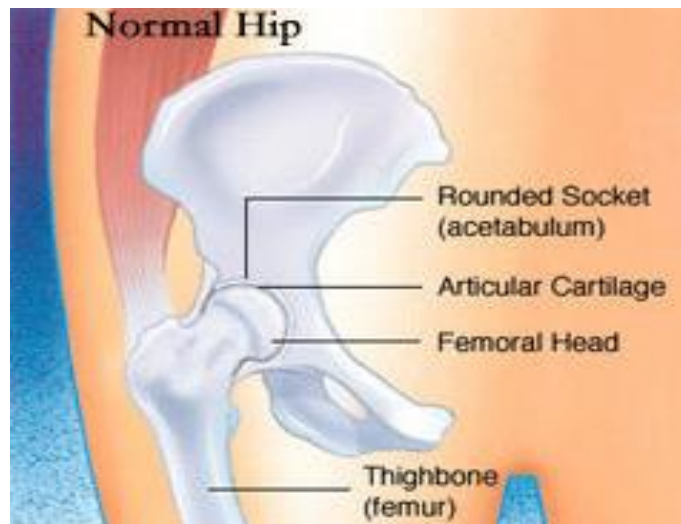
Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *izod*. Metode *izod* tersebut merupakan cara dimana spesimen berada pada posisi *vertical* pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan arah takikan pada arah gaya tumbukan. Penggunaan metode *izod* ini dikarenakan mempunyai kelebihan, yaitu tumbukan tepat pada takikan karena benda kerja dicekam, spesimen tidak mudah bergeser karna dicekam pada salah satu ujungnya dan dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar.



Gambar 2.4 Pembebanan metode *charpy* dan *izod* (Dieter JR, 1988)

2.3 Sambungan Tulang Pinggul (*Hip Joint*)

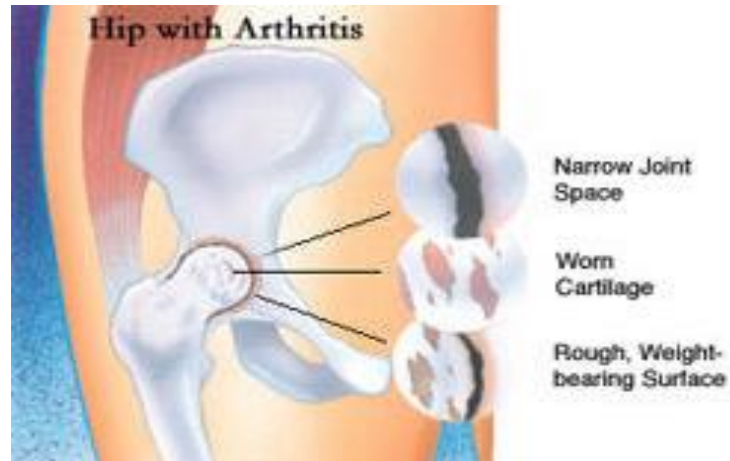
Hip joint adalah sambungan tulang yang terletak diantara pinggul dan pangkal tulang paha atas. *Hip joint* pada manusia terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: *femur*, *femoral head*, dan *rounded socked* (Fessler, H. 1957).



Gambar 2.5 *Hip Joint* normal (Fessler, H. 1957)

Didalam *hip joint* yang normal terdapat suatu jaringan lembut dan tipis yang disebut dengan selaput *synovial*. Selaput ini membuat cairan yang melumasi dan hampir menghilangkan efek gesekan di dalam *hip joint*. Permukaan tulang juga mempunyai suatu lapisan tulang rawan (*articular cartilage*) yang merupakan bantalan lembut dan memungkinkan tulang untuk bergerak bebas dengan mudah. Lapisan ini mengeluarkan cairan yang melumasi dan mengurangi gesekan di dalam *hip joint*. Akibat gesekan dan gerak yang hampir terjadi setiap hari, maka *articular cartilage* akan semakin melemah dan bisa menyebabkan arthritis seperti

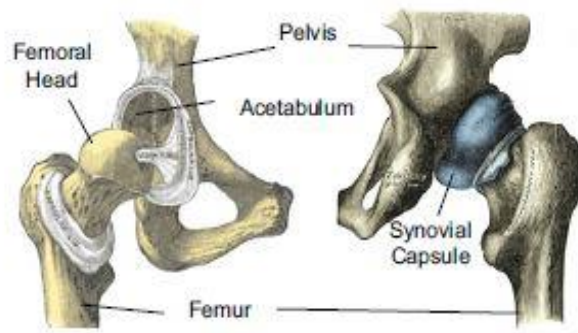
ditunjukkan pada Gambar 2.6 dibawah ini. Selain menimbulkan rasa sakit, juga menyebabkan gerakan *hip joint* menjadi tidak lancar dan bahkan dapat menimbulkan pergeseran dari posisi normalnya. Selanjutnya, *hip joint* perlu diganti dengan tulang pinggul buatan (*artificial hip joint*) (Fessler, H. 1957).



Gambar 2.6 *Hip arthritis* (Fessler, H. 1957)

2.4 Perkembangan Acetabular Cup

Pada tahun 1950, Dr. John Charnley mulai bekerja pada *Total Hip Arthroplasties* (THAs), seperti yang dijelaskan oleh Kurtz. Ia mengembangkan desain yang masih digunakan sampai sekarang. Desain pertamanya adalah *Polytetrafluorethylene* (PTFE) atau bola yang masuk ke dalam cangkir melekat pada *acetabulum* tersebut. Desain ini memberikan hasil yang memuaskan dan dimodifikasi untuk menyertakan kepala logam yang diartikulasikan dengan secangkir PTFE. Cangkir itu tetap ke *acetabulum* menggunakan semen gigi. Dr. Charnley hanya sedikit memodifikasi desain THA-nya, terutama mengubah diameter kepala logam dengan harapan mengurangi jumlah gesekan antara kepala dan cangkir PTFE. *Hip joint* merupakan sambungan antara tulang paha (femur) dan tulang pinggul (pelvis), anatomi *hip joint* ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 di halaman selanjutnya menunjukkan desain THA dan modifikasi dari Dr. Charnley. Dr. Charnley berharap bahwa dengan mengurangi gesekan, keausan PTFE akan dikurangi (McKelvogue, B. 2010).



Gambar 2.7 Anatomi *hip joint* (Mattei dkk, 2011)



Gambar 2.8 Desain THA dan modifikasi Dr. Charnley (McKelvogue, B. 2010)

Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) pertama kali digunakan untuk *acetabular cup* pada bulan November 1962, ketika dapat mengganti laju keausan PTFE. Sendi dengan PTFE telah gagal karena aseptik melonggarkan sekitar dua tahun setelah implantasi. UHMWPE dipilih sebagai PTFE alternatif karena laju keausan dan kekuatan sifat-sifatnya. Bahkan, menggantikan PTFE dengan UHMWPE meningkatkan jangka waktu pemakaian THA untuk sekitar sepuluh tahun. Pada tahun 1990 ditemukan bahwa UHMWPE *crosslinked*, akan memperpanjang masa pakai implan dengan mengurangi tingkat keausan material. UHMWPE *crosslinked* pertama kali digunakan pada *Total Joint Arthroplasties* (TJAs) pada tahun 1998. Selain itu, penelitian lebih lanjut tentang pengobatan alternatif atau bahan saat ini penting karena semakin

banyaknya orang yang membutuhkan dan peningkatan jangka waktu mereka akan hidup dengan implan. Diperkirakan jumlah pasien yang membutuhkan TJA akan dua kali lipat dalam jangka waktu 30 tahun (McKelvogue, B. 2010).

Sekitar 90% dari semua TJA yang telah selesai di seluruh dunia memakai UHMWPE atau komponen UHMWPE *crosslinked*. Namun, pilihan lain termasuk desain *metal on metal* (MOM) atau *ceramic in ceramic* (COC), yang tidak menggunakan komponen UHMWPE. Desain MOM dan COC melepaskan sisa-sisa keausan jauh lebih sedikit, tetapi mereka jauh lebih mahal untuk membuat dan membutuhkan presisi lebih dalam implantasi daripada mitra mereka yaitu UHMWPE. Muncul pertanyaan mengenai toksisitas jangka panjang MOM implan karena partikel keausan mereka kecil yang cukup untuk dicerna oleh sel-sel dalam jaringan sekitarnya, yang dapat menyebabkan masalah kesehatan lainnya, seperti kanker. Pada COC masalah yang terjadi yaitu fraktur. Keramik adalah bahan rapuh dan pembebanan yang berlebihan dapat menyebabkan fraktur. Ini dapat menyebabkan kerusakan tulang. Sebagai hasilnya, baik itu MOM atau COC tersedia alternatif yaitu implan UHMWPE tradisional. Masing-masing dari mereka memiliki masalah yang unik dan tidak akan menggantikan kebutuhan UHMWPE implan dimasa mendatang (McKelvogue, B. 2010).

Analisa tegangan yang terjadi pada permukaan *acetabular cup* perlu terus dikembangkan dengan mengaplikasikan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan UHMWPE *crosslinked* sebagai *acetabular cup*. Pemodelan *acetabular cup* dikembangkan kearah *viscoelastic modeling* mengingat UHMWPE merupakan material yang bersifat *viscoelastic*. Sifat *viscoelastic* merupakan suatu sifat material yang menunjukkan respon *elastic* dan *viscous* ketika terjadi deformasi. Tegangan dan regangan yang terjadi pada material *viscoelastic* merupakan suatu fungsi waktu (Winarso, R. 2010).

Pada pembuatan *acetabular cup*, material UHMWPE yang dipakai harus memenuhi spesifikasi yang ada. Syarat material untuk aplikasi *acetabular cup* dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Karakteristik Fisik Rata-rata *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) untuk *acetabular cup* (Sumber : Edidin A.A, dan Kurtz, S.M. 2000).

No	Karakteristik	UHMWPE
1	Molecular weight (10^6 g/ mol)	3.5 – 7.5
2	Melting temperature (°C)	132 – 138
3	Poisson's ratio	0.46
4	Specific gravity	0.925 – 0.945
5	Tensile modulus of elasticity (Gpa)	0.5 – 0.8
6	Tensile yield strenght (MPa)	21 – 28
7	Tensile ultimate strenght (MPa)	39 – 48
8	Tensile ultimate elongation (%)	350 – 525
9	Impact strenght, Izod (J/ m ²)	>1070 (No Break)
10	Degree of crystallinity (%)	39 – 75

2.5 UHMWPE

UHMWPE adalah bahan yang digunakan dalam implan buatan untuk penggantian sendi articular dan bagian dari polietilen termoplastik yang memiliki rantai yang sangat panjang sehingga menghasilkan material yang tangguh dengan kekuatan benturan tinggi. Koefisien gesekannya sebanding dengan PTFE (*Polytetrafluoroethylene*) namun memiliki ketahanan abrasi yang lebih baik. UHMPE adalah bahan bantalan yang baik dengan sifat geser yang bagus dan tetap tangguh meski pada suhu rendah.

Selain itu menurut Steven M. Kurtz, (2009) *Ultra-high molecular weight polyethylene* (UHMWPE) yaitu polimer yang unik dengan sifat mekanik dan fisik yang baik. Paling penting adalah ketahanan pada bahan kimia, pelumasan, resistensi dampak, dan ketahanan abrasi. Karakteristik UHMWPE ini telah dimanfaatkan sejak tahun 1950-an diberbagai aplikasi industri, termasuk pemetik untuk mesin tekstil, lapisan untuk peluncuran batubara dan dumptruk, pelari untuk pembotolan lini produksi, serta seperti bumper dan bagian untuk kapal dan pelabuhan. Lebih dari 90% dari UHMWPE diproduksi di dunia digunakan oleh industri.

Selama 45 tahun terakhir, UHMWPE juga telah digunakan dalam ortopedi sebagai bahan bantalan pada sendi buatan setiap tahun, sekitar 2 juta prosedur penggantian sendi dilakukan di seluruh dunia, dan sebagian besar pengganti ini berbahan UHMWPE. Meskipun keberhasilan prosedur restoratif ini, ortopedi dan tulang belakang implant hanya memiliki hidup yang terbatas. Pemakaian dan kerusakan komponen UHMWPE secara historis menjadi salah satu faktor pembatas umur panjang implan. Dalam 10 tahun terakhir, biomaterial UHMWPE dengan ikatan *crosslinked* telah menunjukkan peningkatan dalam penggunaan dunia klinis. Perkumpulan ortopedi menunggu konfirmasi bahwa peningkatan ini dapat dipakai terkait dengan peningkatan kelangsungan hidup, seperti yang diharapkan. UHMWPE berasal dari keluarga polimer dengan komposisi kimia sederhana, hanya terdiri dari hidrogen dan karbon. Namun, kesederhanaan yang melekat dalam komposisi kimianya memungkiri ikatan struktur yang lebih kompleks dimolekul dan supermolecular skala panjang. Pada tingkat molekuler, karbon tulang punggung polietilen dapat memutar dan melipat ke arah kristalin. Pada tingkat *supermolecular* UHMWPE terdiri dari bubuk (juga dikenal sebagai resin atau serpihan) yang harus dikonsolidasikan pada temperatur tinggi dan tekanan untuk membentuk bahan padat. Lebih banyak lapisan kompleksitas dihasilkan oleh perubahan kimia yang muncul di UHMWPE karena sterilisasi radiasi dan pengolahan (Steven M. Kurtz, 2009).

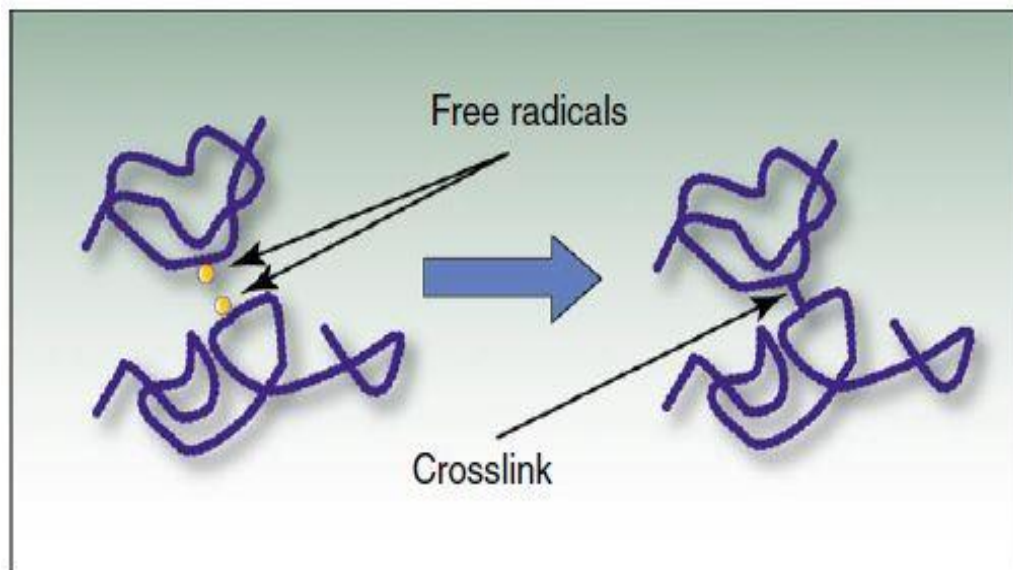
2.5.1 UHMWPE *Crosslinked*

Kombinasi radiasi *crosslinked* dengan perlakuan panas muncul di akhir 1990-an sebagai teknologi untuk meningkatkan keausan dan ketahanan oksidasi dari UHMWPE komponen *acetabular cup*. Perkembangan teknologi selama dekade terakhir ini menyebabkan serangkaian UHMWPE alternatif baru bahan bantalan, seperti iradiasi dan peleburan, iradiasi dan pendinginan, iradiasi berurutan dengan pendinginan, iradiasi dengan deformasi mekanik berikutnya, dan iradiasi dan stabilisasi dengan vitamin E (Steven M. Kurtz, 2009).

Pada akhir 1980-an dan awal 1990-an untuk memahami mekanisme keausan UHMWPE menjadi pusat tujuan meningkatkan ketahanan aus dari polimer ini. Meningkatkan kepadatan ikatan UHMWPE melalui pendinginan-

pencairan adalah usulan pertama untuk mengurangi tingkat deformasi permukaan selama artikulasi. Namun, pendinginan dari UHMWPE cair tidak efektif dalam menjaga keadaan belitan polimer di cairan. Metode ini kemudian dimodifikasi dengan menambahkan radiasi *crosslinked* di atas pencairan untuk mengunci di ikatan. Kemudian terlihat jelas bahwa peningkatan ketahanan aus dari polimer tidak selalu disebabkan oleh peningkatan keterikatan kepadatan tapi karena ikatan *crosslinked* tersebut. Oleh karena itu, *crosslinked* diajukan sebagai cara untuk menghambat pembentukan *fibril* atau serabut permukaan dan mengurangi keausan UHMWPE (Steven M. Kurtz, 2009).

UHMWPE *crosslinked* bila terkena radiasi ionisasi melalui reaksi rekombinasi radikal bebas, radiasi ionisasi akan memotong ikatan C-H dan C-C dan membentuk radikal bebas. Beberapa di antaranya bergabung kembali untuk membentuk ikatan silang yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 di halaman selanjutnya. Pembelahan ikatan C-C adalah pemotongan rantai dan mengurangi berat molekul polimer. Reaksi dari radikal bebas yang dihasilkan oleh pembelahan dari C-H dan C-C hasil obligasi di rantai panjang percabangan atau Y-linkages. Rekombinasi dua radikal bebas yang dibentuk oleh pembelahan C-H hasil obligasi *crosslinked* atau *H-linkage*. Tingkat pembentukan *H-linkages* meningkat dengan meningkatnya suhu iradiasi. Sebagian besar radikal bebas terbentuk dalam domain kristal dari UHMWPE dianggap oksidasi terjebak dan menimbulkan kerusakan dalam jangka waktu lama. Oksidasi ini diwujudkan dalam bentuk komponen UHMWPE rapuh yang kemudian disterilkan dengan gamma. Sterilisasi gamma menghasilkan radikal bebas residual, yang kemudian bereaksi dengan oksigen, membentuk hidroperoksida yang tidak stabil. Peluruhan dari polimer hidroperoksida yang rapuh melalui pemotongan rantai dan rekristalisasi (Steven M. Kurtz, 2009).



Gambar 2.9 Pembentukan ikatan *crosslinked* (Steven M. Kurtz, 2009)

Seperti disebutkan sebelumnya, radikal bebas yang dihasilkan oleh iradiasi terjebak dalam domain kristalin. Pemanasan polimer di atas titik leleh tidak hanya menghilangkan domain kristalin atau *lamellae* melepaskan radikal terjebak tetapi juga memberikan mobilitas untuk menemukan dan bergabung kembali dengan satu sama lain. Jadi radikal bebas residu didinginkan dan stabilitas oksidatif dari UHMWPE iradiasi ditingkatkan. Mencairnya iradiasi UHMWPE dilakukan dalam oven konvensi udara. Biasanya UHMWPE disinari dalam bentuk padat ke mesin dalam implan yang selesai setelah proses pencairan. Tabel 2.2 di halaman selanjutnya menunjukkan daftar iradiasi dan temperatur pelelehan UHMWPE yang saat ini banyak digunakan pada penelitian (Steven M. Kurtz, 2009).

Tabel 2.3 Daftar radiasi dan temperatur UHMWPE. (Steven M. Kurtz, 2009)

	Manufacturer	Irradiation temperature	Radiation dose (kGy)	Radiation type	Postirradiation thermal treatment	Sterilization method	Total radiation dose level (kGy)	Residual-free radicals present?	Comments
Longevity	Zimmer	~40°C	100	E-beam	Melted	Gas plasma	100	No	Total hips only; also used with large femoral heads
Prolong		~125°C	65		Melted	Gas plasma	65	No	Total knees only with cruciate retaining design
Durasul		~125°C	95		Melted	EtO	95	No	Total hips and cruciate retaining knees; also used with large femoral heads in total hips
Marathon	DePuy/JJ	RT	50	Gamma	Melted	Gas plasma	50	No	Total hips only
XLPE	Smith & Nephew	RT	100		Melted	EtO	100	No	Total hips only
RT: Room Temperature									

Baik gamma dan *electron beam (e-beam) irradiation* dapat digunakan untuk *crosslinked* UHMWPE. Perbedaan antara dua metode, khususnya dalam hal penetrasi dari efek radiasi dan radiasi laju dosis dicapai. Sumber radiasi gamma umumnya didasarkan pada isotop buatan kobalt yang menghasilkan foton gamma. Sementara penetrasi sumber gamma ke UHMWPE memiliki keterbatasan praktis, tingkat aktivitas sumber gamma membatasi radiasi laju dosis. Dengan *electron beam irradiation* dalam bentuk dipercepat, partikel bermuatan penetrasi dari efek radiasi *electron beam* dibatasi oleh energi kinetik *electron beam*, diukur dalam jutaan elektron volt (MeV). Dengan 10 MeV *electron beam* pada permukaan UHMWPE, radiasi menembus sekitar 4 sampai 4,5 cm. Laju dosis radiasi yang diberikan *electron beam* adalah sekitar dua kali lipat lebih besar dari sumber gamma.

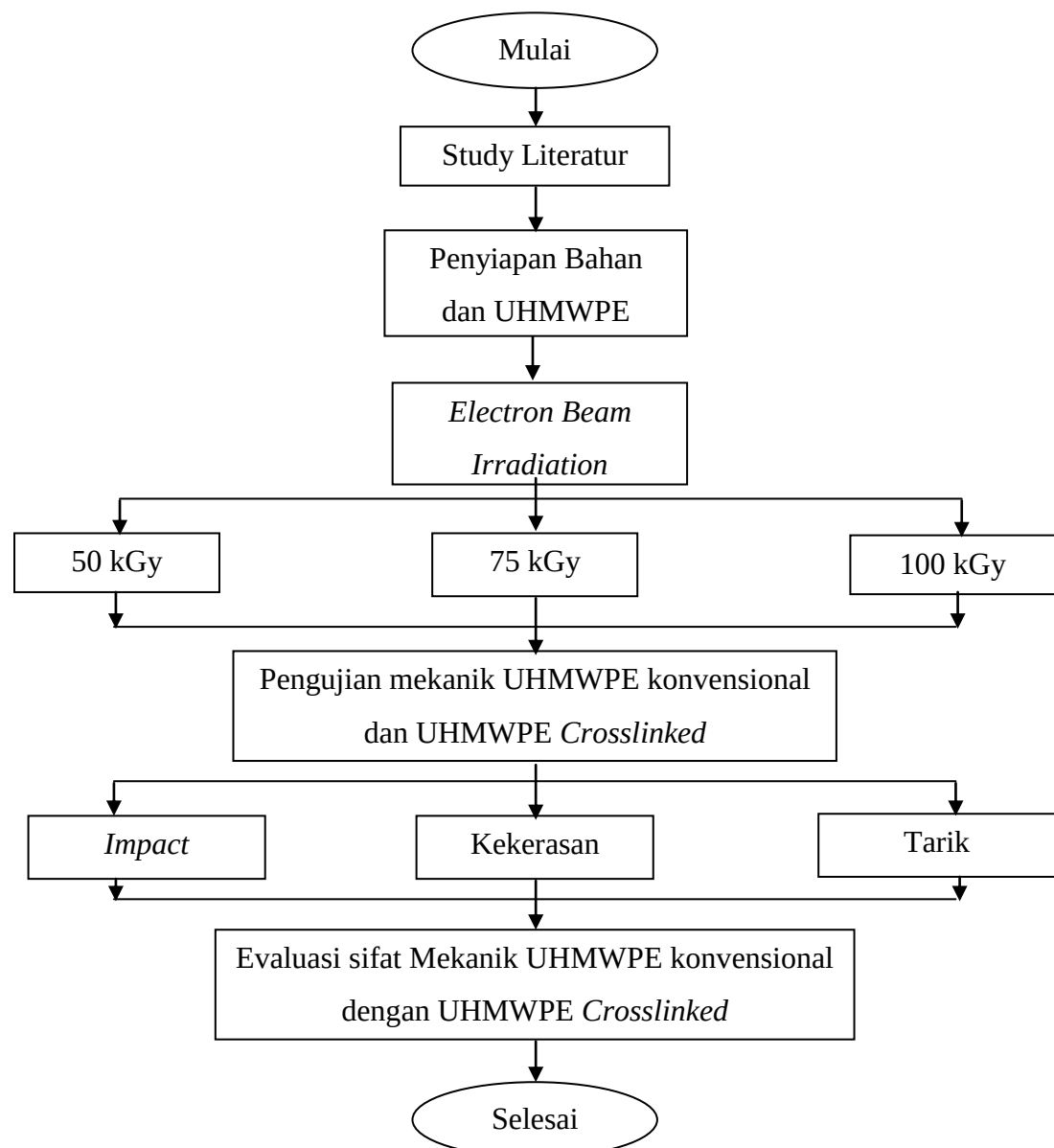
Namun semakin tingginya dosis radiasi yang diberikan terhadap komponen berpengaruh pada ketahanan aus dari material UHMWPE, namun berbanding terbalik dengan sifat mekanik dari material UHMWPE yakni penurunan sifat mekaniknya karena penurunan kristalinitas pada material UHMWPE pasca radiasi (Steven M. Kurtz, 2009).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam alur penelitian ini penulis akan menjelaskan gambarannya secara ringkas dalam bentuk diagram alir penelitian. Gambar 3.1 adalah diagram alir penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Alat

Pada penelitian ini ada beberapa alat dan bahan uji yang digunakan untuk pengujian, dari pengujian pra sampai dengan pengujian inti, diantaranya yaitu :

3.2.1 *Electron Beam Irradiation*

Gambar 3.2 berikut ini menunjukkan alat pengatur kecepatan *electron beam irradiation* yang berada di PATIR BATAN Jakarta dan Gambar 3.3 menunjukkan alat pengatur dosis radiasi



Gambar 3.2 Pengatur Kecepatan *Electron Beam Irradiation*



Gambar 3.3 Pengatur Dosis Radiasi *Electron Beam*

3.2.2 Mesin CNC Laser Cutting

Gambar 3.4 dibawah menunjukan mesin *cnc laser cutting* yang digunakan untuk memotong material UHMWPE yang akan di uji sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Mesin *cnc laser cutting* yang digunakan adalah yang berada di Laboratorium CNC Fakultas Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3.4 Mesin CNC Laser Cutting

3.2.3 Alat Uji Tarik

Gambar 3.5 dibawah menunjukan proses pengujian uji tarik pada spesimen UHMWPE untuk mengetahui keuletan pada spesimen tersebut. Alat uji tarik yang digunakan adalah alat uji tarik yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.



Gambar 3.5 Alat Uji Tarik

3.2.4 Alat Uji Kekerasan

Gambar 3.6 dibawah ini menunjukan proses pengujian kekerasan pada spesimen UHMWPE untuk mengetahui tingkat kekerasan pada spesimen. Alat uji kekerasan yang digunakan adalah alat uji yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.



Gambar 3.6 Alat Uji Kekerasan

3.2.5 Mesin *Notching*

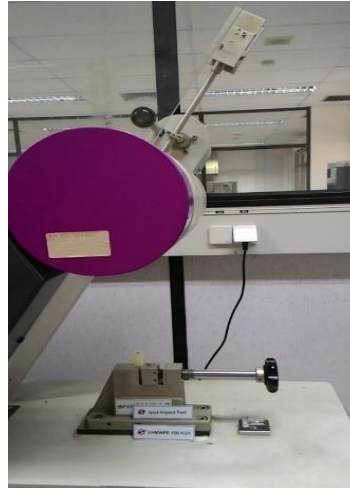
Gambar 3.7 dibawah ini merupakan mesin *notching* yang digunakan untuk pembentukan V pada spesimen UHMWPE untuk pengujian *impact*. Mesin yang digunakan tersebut adalah mesin yang berada di Sentra Teknologi Polimer – BPPT Tangerang Selatan Banten Indonesia.



Gambar 3.7 Mesin *Notching*

3.2.6 Alat Uji *Impact*

Gambar 3.8 dibawah ini menunjukkan proses pengujian *impact* pada spesimen UHMWPE untuk mengetahui kekuatan *impact* pada spesimen. Alat uji *impact* yang digunakan adalah alat yang berada di Sentra Teknologi Polimer – BPPT Tangerang Selatan Banten Indonesia.



Gambar 3.8 Alat Uji *Impact*

3.3 Bahan

3.3.1 UHMWPE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu UHMWPE seperti dapat dilihat pada Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 UHMWPE Dalam Bentuk Lembaran

Material UHMWPE yang digunakan pada penelitian ini berbentuk lembaran yang dibeli melalui CV. Abadi Utama Glodok dengan ukuran 1m x 2m x 3mm. Gambar 3.9 menunjukkan UHMWPE yang telah dilakukan pemotongan 40cm x 40cm, dari bagian tersebut akan dilakukan *irradiation electron beam* dan

pengujian sifat mekanik. Gambar dibawah ini menunjukkan spesimen uji untuk sifat mekanik :

3.3.2 Spesimen Uji Tarik

Gambar 3.10 dibawah ini adalah spesimen uji tarik yang dibentuk dengan menggunakan proses pemesian alat *laser cutting* yang dilakukan di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3.10 Spesimen Uji Tarik Konvensional, *Crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, Dan 100 kGy.

3.3.3 Spesimen Uji Kekerasan

Gambar 3.11 dibawah ini merupakan spesimen uji kekerasan yang dibentuk dengan alat pemotong gergaji yang dilakukan di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3.11 Spesimen Uji Kekerasan

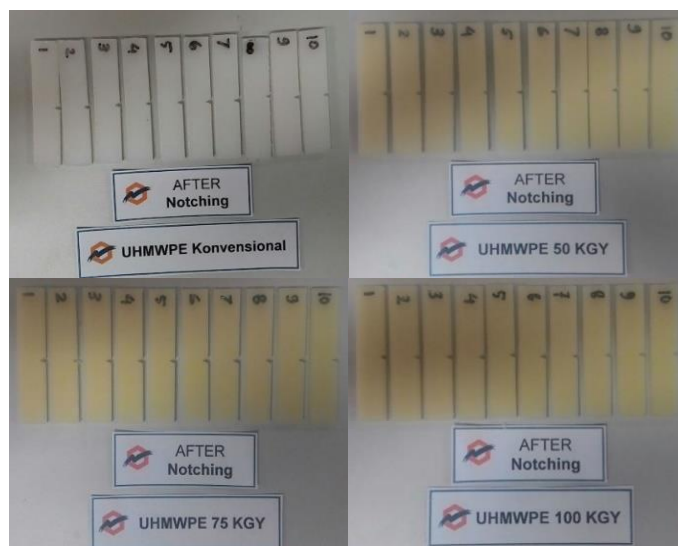
3.3.4 Spesimen Uji *Impact*

Gambar 3.12 dibawah ini menunjukkan spesimen uji *impact* sebelum *notching* diatas dibentuk dengan pemesinan alat *laser cutting* yang dilakukan di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3.12 Spesimen Uji *Impact* Konvensional, *Crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, dan 100 kGy Sebelum *Notching*.

Gambar 3.13 dibawah ini menunjukan spesimen uji *impact* setelah *notching* yang dibentuk dengan alat pemesinan *notching* yang berada di Sentra Teknologi Polimer – BPPT Tangerang Selatan Banten Indonesia.



Gambar 3.13 Spesimen Uji *Impact* Konvensional, *Crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, Dan 100 kGy Setelah *Notching*.

3.4 Proses Pengujian UHMWPE

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian, yaitu pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengujian *impact*. Material UHMWPE terlebih dahulu melalui proses *crosslinked* dengan menggunakan *electron beam irradiation*. Proses *crosslinked* material UHMWPE adalah sebagai berikut :

3.4.1 Pemotongan Material UHMWPE

Proses persiapan dan pemotongan material UHMWPE yang dibeli dari CV. Abadi Utama Glodok Jakarta dengan bentuk material lembaran dengan ukuran 1m x 2m x 3mm. Pemotongan UHMWPE sesuai dengan spesifikasi alat *electron beam irradiation* yang ada di PATIR BATAN (Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir) Jakarta. Pada Gambar 3.14 dibawah menunjukkan material UHMWPE yang telah dilakukan proses pemotongan sesuai dengan ukuran spesifikasi pada alat *electron beam irradiation* yaitu 40 cm x 40 cm x 3 mm.



Gambar 3. 14 Material UHMWPE Yang Telah Dilakukan Proses Pemotongan

3.4.2 Peletakan UHMWPE Pada Konveyor

Peletakan material UHMWPE pada konveyor alat *electron beam irradiation*. Menggunakan konveyor berguna supaya proses *electron beam irradiation* tidak terpapar langsung kepada petugas dan orang-orang lain yang ada disekitar alat, karena sangat berbahaya bila terpapar langsung dengan muatan

electron pada proses *electron beam irradiation*. Gambar 3.15 dibawah menunjukkan peletakan UHMWPE pada wadah untuk dimasukkan melalui konveyor menuju alat pemapar muatan *electron beam*.



Gambar 3.15 Peletakan Material UHMWPE Pada Konveyor

3.4.3 Pengaturan Frekuensi dan Kecepatan Konveyor Alat *Electron Beam Irradiation*

Pengaturan frekuensi kecepatan alat *electron beam irradiation* sesuai dengan tabel spesifikasi alat *electron beam irradiation*. Pada Gambar 3.16 di halaman selanjutnya menunjukkan tabel pengaturan kecepatan konveyor yaitu untuk mendapatkan dosis 25 kGy membutuhkan frekuensi 4,61 hertz dengan kecepatan 0,80 m/menit.

PENGATURAN KECEPATAN KONVEYOR									
UNTUK DOSIS PERMUKAAN PADA ENERGI 1,5 MeV									
ARUS (mA)	D O S I S R A D I A S I								SATUAN
	10	15	20	25	30	40	50	60	
1,5	1,42	0,95	0,71	0,57	-	-	-	-	kGy
	8,43	5,52	4,07	3,20	-	-	-	-	m/mnt
2	2,01	1,34	1,00	0,80	0,66	-	-	-	m/mnt
	12,10	7,92	5,85	4,61	3,79	-	-	-	Hertz
3	2,67	1,76	1,32	1,05	0,87	-	-	-	m/mnt
	16,10	10,55	7,80	6,15	5,08	-	-	-	Hertz
5	4,56	2,95	2,16	1,70	1,40	0,81	-	-	m/mnt
	27,70	17,80	13,60	10,20	8,30	6,02	-	-	Hertz
6	5,75	3,75	2,69	2,19	1,81	1,03	1,06	0,87	m/mnt
	35,00	22,7	16,21	13,2	10,80	7,92	6,20	5,07	Hertz

Gambar 3.16 Kecepatan Konveyor Alat *Electron Beam Irradiation*

Pada Gambar 3.17 dibawah ini menunjukkan alat pengatur frekuensi *electron beam irradiation* yaitu dipertahankan atau mendekati posisi 4,61 hertz.



Gambar 3.17 Alat Pengaturan Frekuensi *Electron Beam Irradiation*

3.4.4 Pemberian Dosis *Electron Beam Irradiation* Sesuai dengan Variasi Penelitian.

Konveyor berjalan masuk kedalam alat *electron beam irradiation* dengan mempertahankan atau mendekati 4,61 hertz dengan dosis 25 kGy sekali spesimen material masuk kedalam alat *electron beam irradiation*, jadi ketika kita menginginkan dosis 50 kGy kita harus memasukkan sebanyak dua kali spesimen tersebut pada alat *electron beam irradiation* begitu juga seterusnya.



Gambar 3.18 Material UHMWPE Telah Dimasukkan Ke Alat *Electron Beam Irradiation*

Karena muatan *electron* sangat berbahaya jika terpapar langsung kepada manusia, kita hanya bisa memantau melalui layar/televisi yang menunjukkan pergerakan proses *electron beam irradiation* yang sedang berjalan. Pada Gambar 3.18 diatas menunjukkan material yang telah dimasukkan ke alat *electron beam irradiation* dan terlihat titik-titik berwarna yang menunjukkan muatan elektron pada proses *electron beam irradiation*.

3.4.5 Pengambilan Material UHMWPE Setelah Proses *Electron Beam Irradiation*

Setelah proses *electron beam irradiation* sesuai dosis yang diinginkan, material UHMWPE di keluarkan dari alat konveyor tersebut.



Gambar 3.19 Proses Pengeluaran Spesimen UHMWPE

Pada Gambar 3.19 diatas, spesimen UHMWPE dikeluarkan dari alat *electron beam irradiation*. Hasil dari spesimen yang telah diberi radiasi tersebut bisa dilihat pada Gambar 3.20 dibawah ini.



Gambar 3.20 Spesimen Hasil *Electron Beam Irradiation*

3.5 Proses Pengujian Sifat Mekanik

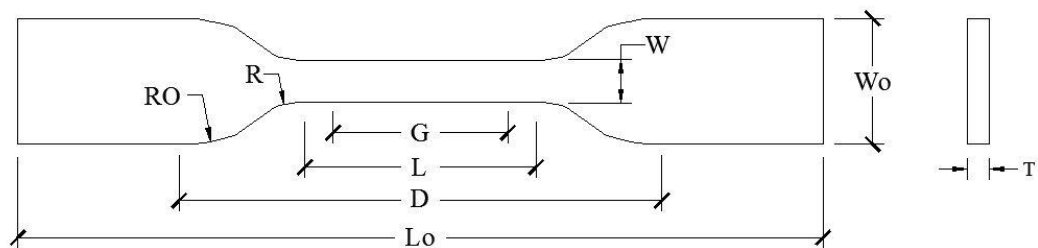
Proses pengujian sifat mekanik ini terbagi menjadi beberapa pengujian lagi, yaitu uji tarik, uji kekerasan dan uji *impact*. Tujuan dilakukannya pengujian sifat mekanik ini adalah untuk mengetahui perbandingan kekuatan, kelemahan dan perbedaan pada material UHMWPE yang akan di uji yaitu UHMWPE konvensional, 50 kGy, 75 kGy dan 100 kGy dari ketiga pengujian yang akan dilakukan.

3.5.1 Uji Tarik

Tahapan uji tarik dengan menggunakan alat uji tarik yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta adalah sebagai berikut :

3.5.1.1 Pemotongan Material UHMWPE

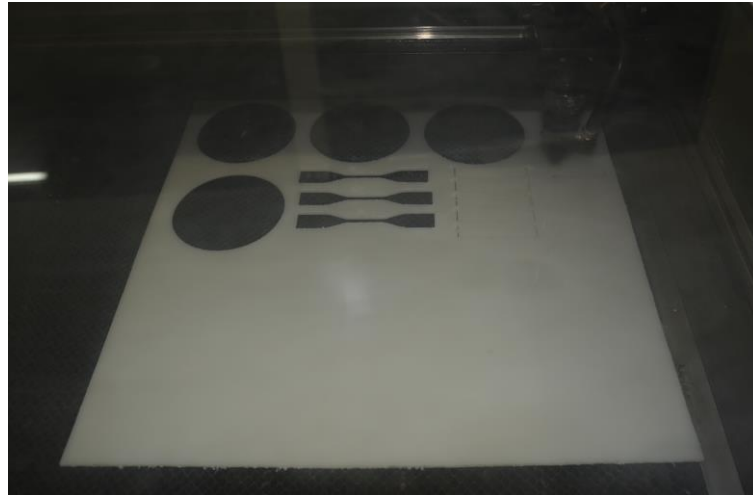
Sebelum melakukan proses uji tarik, terlebih dahulu material UHMWPE melalui proses pemotongan. Pemotongan material UHMWPE yang akan diuji sesuai dengan ukuran ASTM D638 *type 4*. Untuk lebih jelasnya ukuran benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.21 dibawah ini :



Gambar 3.21 ASTM D638 *type 4* (ASTM International, 2002)

W	Width of narrow section	6 mm
Wo	Width overall	19 mm
Lo	Length overall	115 mm
D	Distance between grips	65 mm
L	Length of narrow section	33 mm

G	Gage length	25 mm
R	Radius of fillet	14 mm
RO	Outer radius	25 mm
T	Thickness	3,2 mm



Gambar 3.22 Pemotongan Material UHMWPE Dengan Mesin *Cnc Laser Cutting*

Pada Gambar 3.22 diatas merupakan proses pemotongan spesimen uji tarik dengan menggunakan mesin *cnc laser cutting* yang dilakukan di Laboratorium Manufaktur Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Dari hasil proses pemotongan material diatas maka didapatkan hasil spesimen pada Gambar 3.23 dibawah ini.



Gambar 3.23 Material Setelah Pemotongan

3.5.1.2 Pengujian Material UHMWPE

Mempersiapkan alat dan spesimen yang akan di uji. Kemudian spesimen tersebut dipasang pada alat uji tarik yang berada di Laboratorium D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Gambar 3.24 dan Gambar 3.25 dibawah ini menunjukkan proses pengujian tarik serta hasil dari proses pengujian tarik tersebut.



Gambar 3.24 Proses Pengujian Tarik



Gambar 3.25 Spesimen Setelah Proses Pengujian

3.5.2 Uji Kekerasan

Tahapan pengujian kekerasan dengan menggunakan alat yang berada di Laboratorium D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta adalah sebagai berikut :

3.5.2.1 Proses Pengujian Material UHMWPE

Pada proses pengujian kekerasan, spesimen UHMWPE yang akan uji tidak memiliki patokan ukuran, hanya saja material yang digunakan bisa mewakili pada pengujian tersebut. Untuk lebih jelasnya proses pengujian kekerasan dan hasil uji spesimen tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.26 dan Gambar 3.27 dibawah ini.



Gambar 3.26 Proses Pengujian Kekerasan



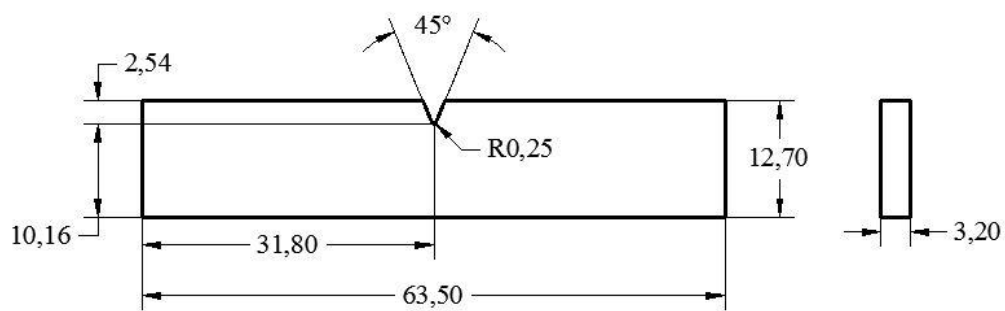
Gambar 3.27 Spesimen Setelah Proses Pengujian

3.5.3 Uji *Impact*

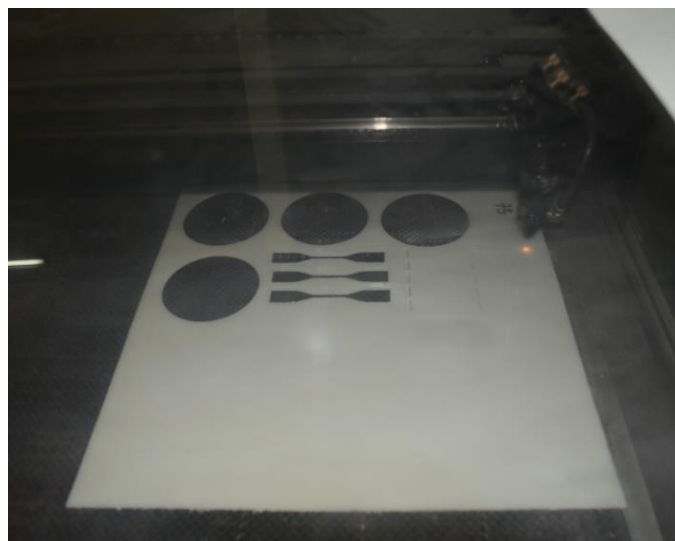
Tahapan uji *impact* dengan menggunakan alat uji *Resil Impactor Ceast* yang berada di Sentra Teknologi Polimer – BPPT Tangerang Selatan Banten Indonesia adalah sebagai berikut :

3.5.3.1 Pemotongan Material UHMWPE

Sebelum melakukan proses pengujian *impact*, terlebih dahulu material UHMWPE melalui proses pemotongan. Pemotongan material UHMWPE yang akan diuji sesuai dengan ukuran ASTM D256. Pemotongan material ini dilakukan di Laboratorium CNC Fakultas Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Untuk ukuran dan pemotongan material lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 3.28 dan Gambar 3.29 dibawah ini.



Gambar 3.28 ASTM D256 (ASTM International, 2004)



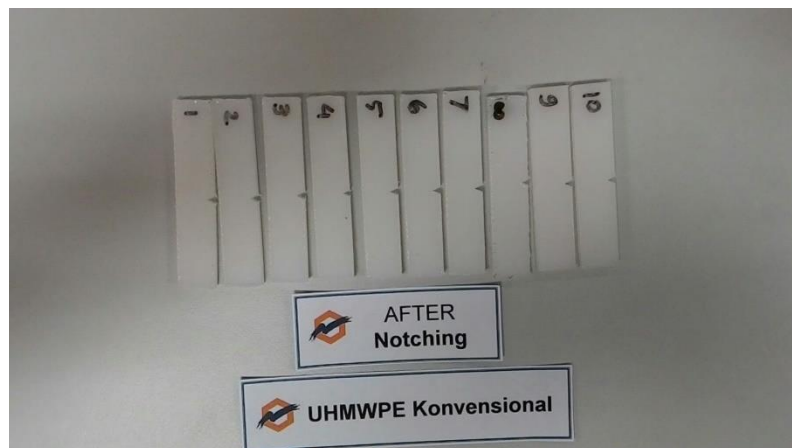
Gambar 3.29 Proses Pemotongan Material Uji *Impact*

3.5.3.2 Proses *Notching* UHMWPE

Proses *notching* material dilakukan di Sentra Teknologi Polimer – BPPT Tangerang Selatan Banten Indonesia yaitu dengan ukuran sudut 45° dan radius 0,25 mm. Proses *notching* dan hasil proses tersebut bisa dilihat pada Gambar 3.30 dan Gambar 3.31 dibawah ini.



Gambar 3.30 Proses *Notching*



Gambar 3.31 Material Setelah Proses *Notching*

3.5.3.3 Proses Uji *Impact*

Proses uji *impact* dilakukan di Sentra Teknologi Polimer – BPPT Tangerang Selatan Banten Indonesia dengan menggunakan alat uji *Resil Impactor Ceast*. Untuk melihat proses uji *impact* dan hasil dari proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.32 dan Gambar 3.33 dibawah ini.



Gambar 3.32 Proses Pengujian *Impact*



Gambar 3.33 Material Setelah Proses Pengujian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses *Crosslinked* dengan *Irradiation Electron Beam*

Proses *crosslinked* adalah proses yang berguna untuk meningkatkan keausan dan ketahanan oksidasi dari material UHMWPE sehingga membuat sifat mekanik dari material UHMWPE berubah. Untuk proses *crosslinked* banyak ragamnya salah satunya adalah dengan menggunakan *electron beam irradiation*. Adapun alat dan proses *crosslinked* dengan *electron beam irradiation* adalah sebagai berikut :

1. Persiapan serta pemotongan material UHMWPE sesuai dengan spesifikasi ukuran alat *electron beam* yang ada di PATIR BATAN (Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir) Jakarta.
2. Proses *irradiasi electron beam* dengan meletakkan material UHMWPE pada konveyor alat *irradiasi electron beam*.
3. Pengaturan frekuensi dan kecepatan konveyor alat *irradiasi electron beam*.
4. Pemberian dosis *irradiasi electron beam* sesuai dengan variasi penelitian.
5. Pengambilan material UHMWPE pada konveyor alat *irradiasi electron beam*.

Pada Gambar 4.1 dibawah menunjukkan wadah muatan elektron yang dikumpulkan untuk proses *irradiasi electron beam*.



Gambar 4.1 Wadah Muatan *Electron*

Setelah muatan *electron* dikumpulkan pada wadah muatan *electron* lalu dilanjutkan menuju alat pemapar muatan *electron* pada material UHMWPE yang dimasukkan melalui konveyor. Pada gambar 4.2 dibawah menunjukkan alat pemapar muatan elektron.



Gambar 4.2 Alat Pemapar Muatan *Electron* Pada Material

4.2 Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini penulis melakukan beberapa penelitian, antara lain yaitu pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian *impact* pada material UHMWPE yang akan diuji. Sebelum proses pengujian, material UHMWPE dilakukan proses *crosslinked* dengan radiasi *electron beam*. Gambar 4.3 dibawah ini menunjukkan material UHMWPE yang telah selesai melalui proses *crosslinked*.



Gambar 4.3 Material UHMWPE Setelah Proses *Irradiasi Electron Beam*

Pada penelitian ini dilakukan dengan variasi dosis *crosslinked* dari proses radiasi *electron beam*. Hal itu dilakukan untuk mencari tahu variasi mana yang lebih baik untuk digunakan sebagai *hip joint*. Dalam kehidupan sehari-hari ketika manusia bergerak, maka mekanisme *hip joint* dari tubuh juga ikut bergerak dan terjadi gesekan didalamnya. Dalam penelitian ini dosis yang diberikan pada material UHMWPE yakni konvensional atau tanpa dosis *crosslinked*, dosis 50 kGy, 75 kGy, dan 100 kGy dengan pengujian yang akan dilakukan pada tiap spesimen uji yang telah dipersiapkan.

4.2.1 Pengujian Tarik

Pada penelitian pengujian tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari material UHMWPE konvensional dan material UHMWPE *crosslinked*, sehingga didapatkan nilai kuat tarik yang terbaik antara UHMWPE konvensional atau tanpa dosis *crosslinked* dan UHMWPE *crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy. Pengujian tarik ini dilakukan sebanyak 3 kali pengujian tiap spesimen ujinya, hal ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan ataupun kesalahan alat yang digunakan. Setelah itu hasil dari nilai kuat tarik dari 3 spesimen tersebut dirata-ratakan. Gambar 4.4 dibawah ini menunjukkan contoh dari 3 spesimen uji tarik.



Gambar 4.4 Spesimen Uji Yang Dilakukan Sebanyak 3 Kali Pengujian

Menurut Sumaryono (2012), pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan maksimum dan regangan maksimum yang didapatkan dari material UHMWPE yang digunakan dalam pengujian. Uji tarik adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap

gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Dapat ditulis dengan persamaan dari tegangan dan regangan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

σ : Tegangan

P : Beban

A : Luas penampang

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

ε : Regangan

ΔL : Pertambahan panjang

L : Panjang awal

Dengan menggunakan rumus pada persamaan diatas, kita dapat mengetahui dan menghitung nilai tegangan maksimum dan regangan maksimum. Pengujian ini dilakukan sebanyak 12 kali dengan 12 buah spesimen uji. Dari ke 12 spesimen tersebut akan dihitung nilai tegangan maksimum dan regangan maksimumnya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan dalam pembacaan nilai tegangan maksimum dan regangan maksimum ataupun kesalahan benda ukur. Tabel 4.1 dibawah ini menunjukan data hasil pengujian tarik material UHMWPE.

Tabel 4.1 Data Hasil Keseluruhan Pengujian Tarik

No	Kode Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	A	P _{max} (kN)	P _{max} (N)	Teg. Max (σ) (MPa)	Lo (mm)	ΔL (mm)	ε (%)
1	Konvensional	6	3	18	0.59	590.00	32.78	25.00	44.92	179.68
2		6	3	18	0.51	510.00	28.33	25.00	39.83	159.32
3		6	3	18	0.51	510.00	28.33	25.00	38.62	154.48
4	Radiasi 50 kGy	6	3	18	0.48	480.00	26.67	25.00	25.01	100.04
5		6	3	18	0.50	500.00	27.78	25.00	25.25	101.00
6		6	3	18	0.47	470.00	26.11	25.00	25.97	103.88
7	Radiasi 75 kGy	6	3	18	0.47	470.00	26.11	25.00	27.72	110.88
8		6	3	18	0.51	510.00	28.33	25.00	28.88	115.52
9		6	3	18	0.49	490.00	27.22	25.00	24.75	99.00
10	Radiasi 100 kGy	6	3	18	0.50	500.00	27.78	25.00	24.54	98.16
11		6	3	18	0.48	480.00	26.67	25.00	18.47	73.88
12		6	3	18	0.51	510.00	28.33	25.00	28.02	112.08

Dari Tabel 4.1 di halaman sebelumnya, dapat dilihat hasil data keseluruhan dari ke 12 spesimen yang diuji. Untuk ukuran material pada setiap spesimen yaitu lebar 6 mm, tebal 3 mm, luas penampang 18 mm dan panjang 25 mm. Dilihat dari Tabel 4.1 tersebut, setelah nilai dirata-ratakan dapat disimpulkan kuat tarik yang tertinggi yaitu terdapat pada material UHMWPE konvensional sebesar 536,67 N dan pertambahan panjang yang tertinggi yaitu pada material UHMWPE konvensional sebesar 41,12 mm.

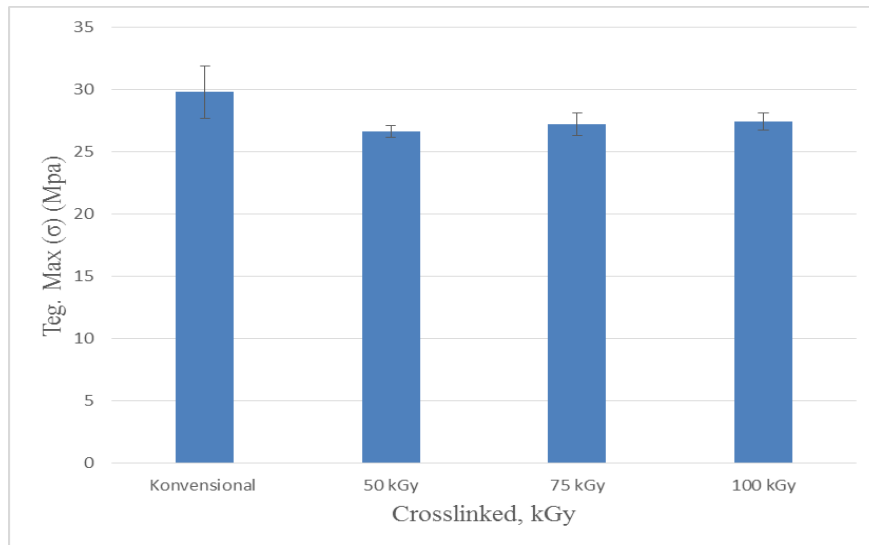
Tabel 4.2 Data Rata-Rata dan *Error Bar* Pengujian Tarik

No	Kode Spesimen	Teg. Max (σ) (MPa)	Regangan (ϵ) (%)
1	Konvensional	32.78	179.7
		28.33	159.3
		28.33	154.5
	Rata-rata	29.81	164.5
	Error Bar	2.09	10.92
2	Radiasi 50 kGy	26.67	100
		27.28	101
		26.11	103.9
		Rata-rata	26.68
Error Bar		0.47	1.65
3	Radiasi 75 kGy	26.11	110.9
		28.33	115.5
		27.22	99
	Rata-rata	27.22	108.46
	Error Bar	0.90	6.95
4	Radiasi 100 kGy	27.28	98.2
		26.67	73.9
		28.33	112.1
	Rata-rata	27.42	94.73
	Error Bar	0.68	15.78

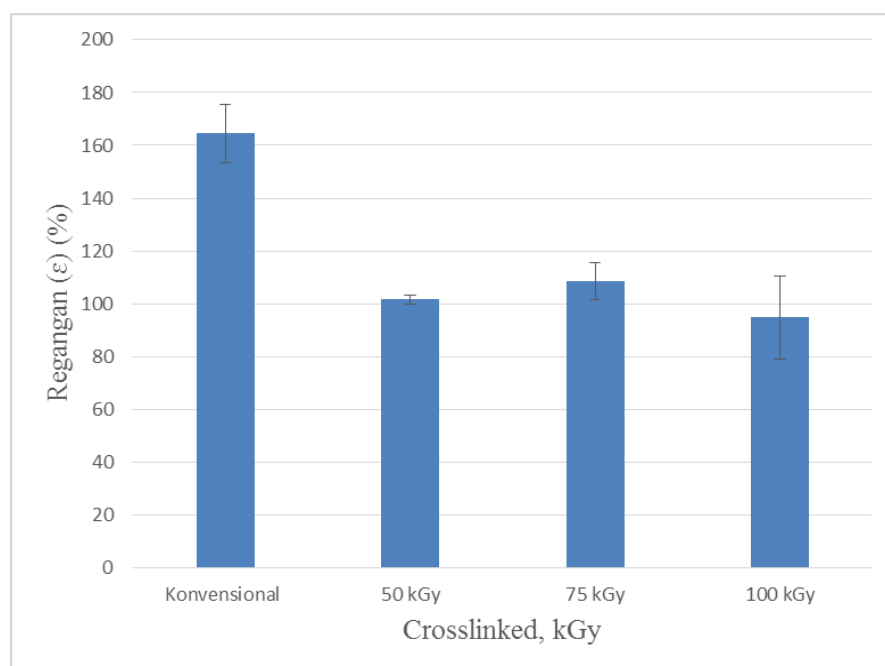
Dari Tabel 4.2 diatas telah didapat hasil data rata-rata tegangan, regangan dan *error bar* dari keseluruhan pengujian tarik pada spesimen UHMWPE konvensional, radiasi *e-beam* 50 kGy, 75 kGy, dan 100 kGy. Pada material UHMWPE konvensional atau tanpa dosis *crosslinked* didapatkan tegangan rata-rata yaitu 29,81 MPa dan *error bar* 2,09. Material UHMWPE 50 kGy didapatkan tegangan rata-rata yaitu 26,68 MPa dan *error bar* 0,47. Material UHMWPE 75 kGy didapatkan tegangan rata-rata yaitu 27,22 MPa dan *error bar* 0,90. Material UHMWPE 100 kGy didapatkan tegangan rata-rata yaitu 27,42 MPa dan *error bar* 0,68. Untuk nilai regangan yang didapat pada material UHMWPE konvensional atau tanpa dosis *crosslinked* yaitu 164,5 % dan *error bar* 10,92. Material UHMWPE 50 kGy didapatkan regangan rata-rata yaitu 101,63 % dan *error bar* 1,65. Material UHMWPE 75 kGy didapatkan regangan rata-rata yaitu 108,47 % dan *error bar* 6,95. Material UHMWPE 100 kGy didapatkan regangan rata-rata yaitu 94,73 % dan *error bar* 15,78. Dari hasil pengujian, nilai kuat tarik yang baik digunakan yaitu pada material UHMWPE konvensional dengan nilai tegangan maksimum 29,81 Mpa dan nilai regangan sebesar 164,5 %.

Pada Tabel 4.2 nilai kuat tarik material UHMWPE yang diperoleh jauh berbeda dibandingkan dengan rentang nilai karakteristik fisik rata-rata UHMWPE untuk *acetabular cup* pada Tabel 2.2 yaitu sekitar 39 – 48 MPa. Jadi, hasil nilai kuat tarik material UHMWPE konvensional dan material UHMWPE *crosslinked* yang telah didapat belum memenuhi spesifikasi sebagai material untuk *acetabular cup*.

Jadi, semakin tinggi dosis *crosslinked* yang diberikan dengan proses radiasi *electron beam* pada material UHMWPE maka semakin menurun sifat mekanis yang didapatkan. Pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dibawah ini menunjukkan grafik hasil tegangan dan regangan berdasarkan pengujian spesimen UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy.



Gambar 4.5 Grafik Tegangan Berdasarkan Dosis *Crosslinked*

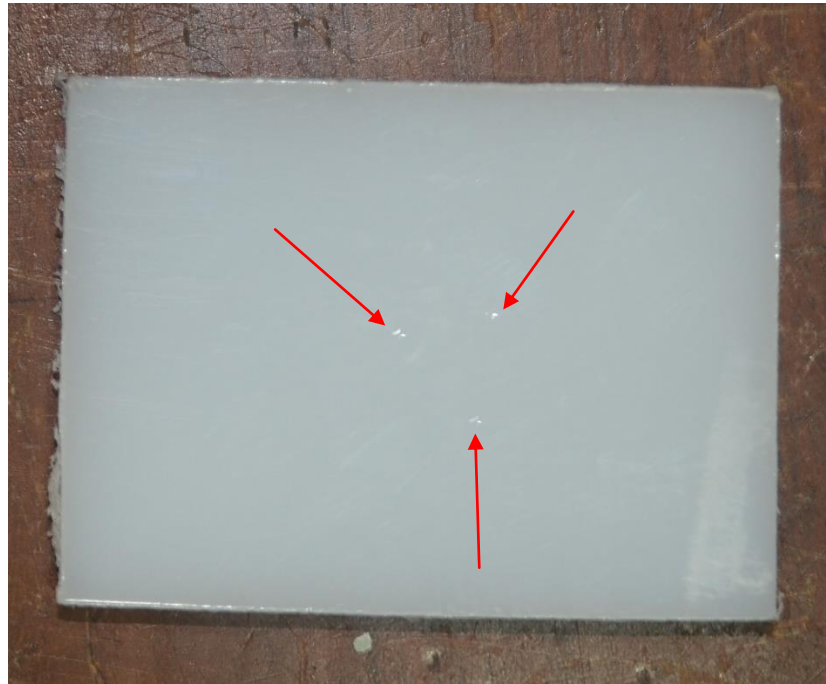


Gambar 4.6 Grafik Regangan Berdasarkan Dosis *Crosslinked*

4.2.2 Pengujian Kekerasan

Pada dasarnya pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menahan identasi atau penekanan. Pengujian kekerasan sangat penting, karena di dalam aplikasi manufaktur pada material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi

kualitas tertentu. Pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 3 titik untuk tiap spesimen ujinya, hal ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan ataupun kesalahan alat yang digunakan, seperti kerataan permukaan spesimen uji. Setelah itu hasil dari nilai kekerasan dari 3 titik tersebut dirata-ratakan. Gambar 4.7 di halaman selanjutnya ini menunjukkan contoh dari spesimen uji yang terdiri dari 3 titik pengujian kekerasan material.



Gambar 4.7 Spesimen Uji Yang Dilakukan Sebanyak 3 Titik

Dalam pengujian kekerasan ini menggunakan metode *vickers* yang bertujuan menentukan kekerasan suatu material yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian *rockwell* dan *brinell* yaitu antara 1 sampai 1000. Angka kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

VHN : Angka kekerasan *vickers*

Θ : Sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

D : Diagonal (mm)

P : Beban yg diberikan (kgf).

Dari persamaan rumus (3) di halaman sebelumnya didapatkan hasil angka kekerasan *vickers* yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dibawah :

Tabel 4.3 Hasil angka kekerasan *vickers* pada spesimen UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked*

No	Kode	Posisi titik	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _{rata-rata} (mm)	Kekerasan (VHN)
1	Konvensional	Acak	0.95	1	0.97	5.85
			1.04	1.05	1.04	5.09
			1.05	1.05	1.05	5.05
2	50 kGy	Acak	1	1	1	5.56
			1.05	1.05	1.05	5.05
			1.08	1.07	1.07	4.81
3	75 kGy	Acak	1.01	1.01	1.01	5.45
			1.02	1.05	1.03	5.19
			1.08	1.1	1.09	4.68
4	100 kGy	Acak	1.05	1.03	1.04	5.14
			1.06	1.04	1.05	5.05
			1.04	1.05	1.045	5.09

Dari Tabel 4.3 diatas menunjukkan hasil angka kekerasan *vickers* pada spesimen UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked*. Masing-masing material spesimen dilakukan 3 kali pengujian. Pada pengujian UHMWPE konvensional didapatkan diagonal rata-rata sebesar 0,97 mm, 1,04 mm dan 1,05 mm. Pada pengujian UHMWPE *crosslinked* 50 kGy didapatkan diagonal rata-rata sebesar 1 mm, 1,05 mm dan 1,07 mm. Pada pengujian UHMWPE

crosslinked 75 kGy didapatkan diagonal rata-rata 1,01 mm, 1,03 mm dan 1,09 mm. Selanjutnya pada pengujian UHMWPE *crosslinked* 100 kGy didapatkan diagonal rata-rata 1,04 mm, 1,05 mm dan 1,04 mm.

Kemudian dari hasil diagonal rata-rata tersebut didapatkan nilai kekerasan material UHMWPE konvensional sebesar 5,85 VHN, 5,09 VHN dan 5,05 VHN. Pada material UHMWPE *crosslinked* 50 kGy sebesar 5,56 VHN, 5,05 VHN dan 4,81 VHN. Pada material UHMWPE *crosslinked* 75 kGy sebesar 5,45 VHN, 5,19 VHN dan 4,68 VHN. Pada material UHMWPE *crosslinked* 100 kGy sebesar 5,14 VHN, 5,05 VHN dan 5,09 VHN. Nilai kekerasan masing-masing material tersebut didapatkan melalui persamaan rumus (3) di halaman sebelumnya. Kemudian setelah nilai kekerasan seluruh material didapatkan, nilai tersebut di rata-ratakan dan dicari nilai *error bar*nya. Nilai kekerasan rata-rata dan *error bar* tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Data Rata-Rata Dan *Error Bar* Pengujian Kekerasan

Spesimen	Kekerasan (VHN)	<i>Error Bar</i>
Konvensional	5.33	0.36
50 kGy	5.14	0.31
75 kGy	5.10	0.31
100 kGy	5.09	0.03

Keterangan :

- Menggunakan metode uji *vickers* dengan pembebanan 3 kgf
- Satuan pengukuran diagonal jejak indenter dalam (mm)
- Sudut yang digunakan 136°

Pada Tabel 4.4 diatas merupakan nilai akhir pada masing-masing spesimen uji setelah dirata-ratakan beserta nilai *error bar* yang didapatkan. Nilai kekerasan rata-rata UHMWPE konvensional yaitu 5,33 VHN dan *error bar* 0,36. Nilai kekerasan rata-rata UHMWPE *crosslinked* 50 kGy yaitu 5,14 VHN dan *error bar* 0,31. Nilai kekerasan rata-rata UHMWPE *crosslinked* 75 kGy yaitu 5,10 VHN

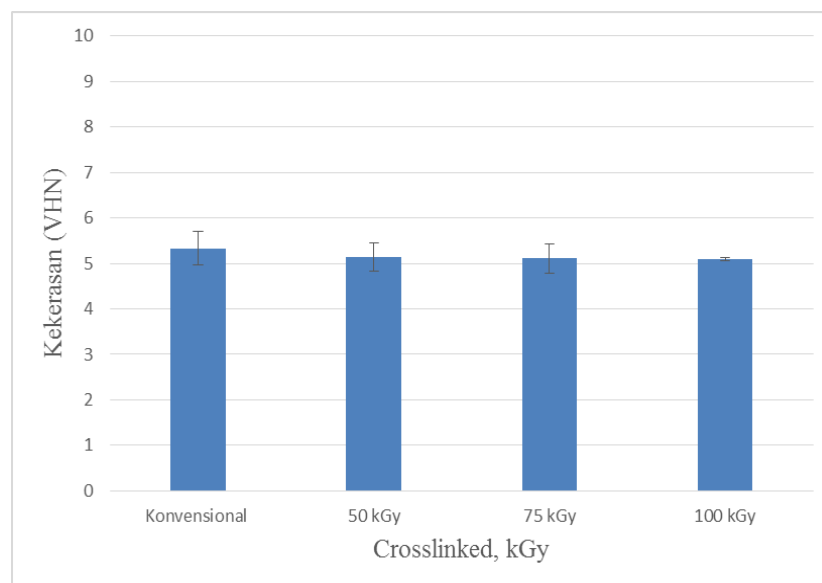
dan *error bar* 0,31. Nilai kekerasan UHMWPE *crosslinked* 100 kGy yaitu 5,09 VHN dan *error bar* 0,03. Setelah didapatkan hasil akhir dari pengujian kekerasan di Tabel 4.4 diatas bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material UHMWPE konvensional sebesar 5,33 VHN. Nilai kekerasan UHMWPE yang telah didapat tersebut tidak sesuai dengan standar nilai kekerasan UHMWPE untuk *acetabular cup*, yaitu 8,8 VHN yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Sifat Mekanik Material UHMWPE untuk *acetabular cup* (Sumber : Anwar, B. 2015)

Materials	Yield stress	Hardness		Flexural strength
		Macro	Micro	
SS316L	356.14 MPa	64.5 HRA	197 VHN	-
UHMWPE	25.25 MPa	8.8 VHN	-	18.71 ± 0.63 MPa

Berdasarkan hasil pengujian material UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* yang telah dilakukan, nilai kekerasan yang didapat belum memenuhi spesifikasi sebagai material untuk *acetabular cup*.

Jadi, semakin tinggi dosis *crosslinked* yang diberikan dengan proses radiasi *electron beam* pada material UHMWPE, maka semakin menurun sifat mekanis yang didapatkan. Pada Gambar 4.8 menunjukkan grafik nilai kekerasan material berdasarkan pengujian spesimen UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy.



Gambar 4.8 Grafik Kekerasan Berdasarkan Dosis *Crosslinked*

4.2.3 Pengujian *Impact*

Pada penelitian pengujian *impact* ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan suatu material akibat pembebanan kejut pada beberapa macam kondisi suhu, sehingga didapatkan nilai kekuatan yang terbaik antara UHMWPE konvensional atau tanpa dosis *crosslinked* dan UHMWPE *crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy. Pengujian *impact* ini dilakukan di Sentra Teknologi Polimer – BBPT Gedung 460, Kawasan Puspitex Tangerang Selatan. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali pengujian tiap spesimen ujinya, hal ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan ataupun kesalahan alat yang digunakan. Setelah itu hasil dari nilai uji *impact* dari ke 10 spesimen tersebut dirata-ratakan. Gambar 4.9 di halaman selanjutnya menunjukkan material UHMWPE konvensional atau tanpa dosis *crosslinked* dan UHMWPE *crosslinked* yang telah di uji *impact*.



Gambar 4.9 Spesimen Uji *Impact*

Dalam pengujian *impact* ini menggunakan metode izod. Metode izod tersebut merupakan cara dimana spesimen berada pada posisi *vertical* pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan arah takikan pada arah gaya tumbukan. Penggunaan metode izod ini dikarenakan mempunyai kelebihan, kelebihan dari metode tersebut yaitu tumbukan tepat pada takikan karena benda kerja dicekam, spesimen tidak mudah bergeser karna dicekam pada salah satu ujungnya dan dapat menggunakan spesimen dengan ukuran yang lebih besar. Alat yang digunakan pada pengujian *impact* ini yaitu *Resil Impactor Ceast*.

Setelah seluruh spesimen diuji dengan menggunakan alat *Resil Impactor Ceast* maka hasil data akhir yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini. Pada Tabel 4.5, data yang didapatkan sudah dirata-ratakan nilainya beserta nilai *error bar*.

Tabel 4.6 Hasil Data Rata-Rata Pengujian *Impact* UHMWPE Konvensional dan *Crosslinked*

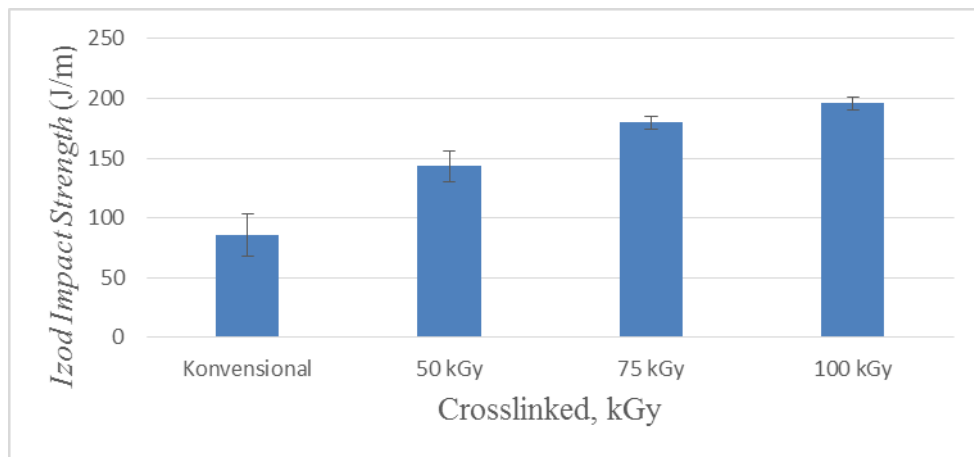
No	Jenis Spesimen	<i>Izod Impact Strength</i> (J/m ²)	<i>Error Bar</i>
1	Konvensional	85.57	17.85
2	50 kGy	143.10	12.61
3	75 kGy	179.75	5.22
4	100 kGy	195.78	5.05

Pada Tabel 4.5 di halaman sebelumnya merupakan nilai akhir pada masing-masing spesimen uji setelah nilai dirata-ratakan beserta nilai *error bar* yang didapatkan. Nilai *izod impact strength* rata-rata UHMWPE konvensional yaitu 85,57 J/m² dan *error bar* 17,85. Nilai *izod impact strength* rata-rata UHMWPE *crosslinked* 50 kGy yaitu 143,1 J/m² dan *error bar* 12,61. Nilai *izod impact strength* rata-rata UHMWPE *crosslinked* 75 kGy yaitu 179,75 J/m² dan *error bar* 5,22. Nilai *izod impact strength* rata-rata UHMWPE *crosslinked* 100 kGy yaitu 195,78 J/m² dan *error bar* 5,05.

Dilihat dari nilai keseluruhan yang telah didapatkan pada material yang telah diuji, maka nilai yang tertinggi terdapat pada material UHMWPE *crosslinked* 100 kGy yaitu 195,78 J/m² dan *error bar* 5,05. Dari pengujian *impact* yang telah dilakukan maka hasil yang didapat terlihat jelas. Ketika material di uji *impact* nilai tertinggi yang didapatkan yaitu pada material UHMWPE *crosslinked* 100 kGy. Berbeda dengan pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Berdasarkan sifat umum material, ketika sifat mekanis material semakin baik material tersebut akan semakin kuat. Maka pada saat dilakukan pengujian *impact*, material UHMWPE konvensional akan getas dan nilai yg didapatkan pada pengujian *impact* ini akan lebih kecil dibandingkan dengan nilai material UHMWPE *crosslinked*.

Pada Tabel 4.6 nilai *impact* material UHMWPE yang diperoleh jauh berbeda dibandingkan dengan rentang nilai karakteristik fisik rata-rata UHMWPE untuk *acetabular cup* pada Tabel 2.2 yaitu sebesar 1070 J/m². Jadi, hasil nilai uji *impact* material UHMWPE konvensional dan material UHMWPE *crosslinked* yang telah didapat belum memenuhi spesifikasi sebagai material untuk *acetabular cup*.

Dosis *electron beam irradiation* yang diberikan pada material UHMWPE sangatlah berpengaruh pada penurunan sifat mekanis material tersebut. Pada Gambar 4.10 dibawah ini menunjukkan grafik *izod impact strength* berdasarkan pengujian spesimen UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy.



Gambar 4.10 Grafik *Izod Impact Strength* Berdasarkan Dosis *Crosslinked*

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh *crosslinked* terhadap nilai kekerasan pada material UHMWPE dari data yang diperoleh yaitu semakin besar dosis yang diberikan pada material UHMWPE maka semakin menurun nilai sifat mekanis yang didapat. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa UHMWPE konvensional nilai sifat mekanisnya lebih baik dibandingkan dengan UHMWPE *crosslinked*. Tetapi, hasil pengujian kekerasan yang didapatkan pada material UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi berdasarkan sifat mekanik yang diperoleh.
2. Pemberian *crosslinked* terhadap material UHMWPE pada uji *impact* dengan pembebanan kejut berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa material UHMWPE konvensional nilai sifat mekanis yang didapat lebih baik dibandingkan dengan UHMWPE *crosslinked*. Tetapi, hasil pengujian *impact* yang didapatkan pada material UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi berdasarkan sifat mekanik yang diperoleh.
3. Semakin besar dosis *electron beam* yang diberikan pada material UHMWPE maka semakin rendah nilai uji tarik yang didapat dan sifat mekanis material menurun. Berdasarkan hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa material UHMWPE konvensional nilai sifat mekanisnya lebih baik dibandingkan dengan UHMWPE *crosslinked*. Tetapi, hasil pengujian tarik yang didapatkan pada material UHMWPE konvensional dan UHMWPE *crosslinked* belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi berdasarkan sifat mekanik yang diperoleh.

5.2 Saran

1. Setelah melakukan pemotongan material untuk pengujian tarik dan pengujian *impact* yang menggunakan mesin *CNC Lasser Cutting* sebaiknya material tersebut dilakukan pengukuran ulang. Karena ukuran material pada desain yang seharusnya diinginkan kemungkinan berbeda ukurannya ketika pemotongan material selesai.
2. Pada proses pengujian *impact*, seharusnya peneliti diharap mendapatkan pendampingan khusus secara langsung dari pihak laboratorium pengujian. Agar peneliti dapat memahami lebih baik proses pengujian yang dilakukan.
3. Sebelum dilakukan pengujian sebaiknya permukaan material diampelas terlebih dahulu, agar memudahkan pada saat pengujian tarik dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International, 2002. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*
- ASTM International, 2004. *Standard Test Methods for Determining the Izod endulum Impact Resistance of Plastics*
- Anwar B, dkk (2015). Study on the biocompatibility and wear of stainless steel 316L and UHMWPE materials. Orthopaedic and Traumatology Department, Prof. Dr. R. Soeharso Orthopaedic Hospital, Jl. A. Yani Pabelan, Surakarta 57162, Indonesia.
- Biomaterials, (2009). *Clinical fracture of cross-linked UHMWPE acetabular liners Jevan Furmanski, Martin Anderson, Sonny Bal, A. Seth Greenwald, David Halley, Brad Penenberg, Michael Ries, Lisa Pruitt*, : 5572–5582.
- Budinski, Kenneth G. (1997). "Resistance to particle abrasion of selected plastics". *Wear*. 203–204: 302.
- Chang B.P, dkk (2013). Mechanical and Tribological Properties of Zeolite-reinforced UHMWPE Composite for Implant Application. School of Materials and Mineral Resources Engineering, Engineering Campus Universiti Sains Malaysia, Nibong Tebal, Penang, 14300, Malaysia
- Chandler H (1999). *Hardness Testing*, Introduction to Hardness Testing
- David Roylance, (2008). *Mechanical Properties of Materials*
- Dieter JR, (1988). *Mechanical Metallurgy*
- Edidin A.A. (1999). PlasticityInduced Damage Layer is a Precursor to Wear in Radiation Cross Linked UHMWPE Acetabular Components for Total Hip Replacement. Ultra High Molecular Weight Polyethylene. *Journal of Arthroplasty* 1999
- Kurtz S.M (2009) *UHMWPE Biomaterial Handbook*; Philadelphia
- McKelvogue, B (2010). *Improvements to UHMWPE A Scientific Review*. Department of Mechanical and Civil Engineering.Minnesota State University, Mankato.

- Sumaryono (2012). Perilaku pengujian tarik pada polimer polistiren dan polipropilen. Staf Pengajar Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Otomotif IKIP Veteran Semarang
- Stein, H. L. (1998). *Ultrahigh molecular weight polyethylenes* (uhmwpe). Engineered Materials Handbook, 2, 167–171.
- Spiegelberg S (2005). *Characterisation of Crosslinked UHMWPE* Cambridge Polymer Group, Inc. 52-R Roland St. Boston, MA 02129 (Diakses 30/01/2015).
- Sterigenics, (1994). *Sterilization Alternatives Electron Beam Radiation*. www.sterigenics.com (Diakses 17/01/2014).
- Terapisehat, (2010) <http://www.terapisehat.com/2010/08/osteoarthritis-radang-sendi-akibat.html>. (Diakses 29/01/2015).
- Viorita, M. Siswanto. & Supardi, A. (2014). Pembentukan Jalinan Ikat Silang (*Crosslinking*) pada *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) Sebagai Kandidat Bantalan Sendi Menggunakan Radiasi Gamma. Prosiding Seminar Nasional Fisika Terapan IV. Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya.
- Winarso, R (2010). *Aplikasi Highly Crosslinked UHMWPE* pada Pemodelan *Artificial Hip Joint System* Menggunakan Metode Elemen Hingga. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2010. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Zanurul rifhan, (2010). HUBUNGAN ANTARA *WAIST-HIP RATIO* DENGAN DERAJAT NYERI PENYAKIT *OSTEOARTRITIS* LUTUT PADA PASIEN DI RSUP.H.ADAM MALIK. FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS SUMATERA UTARA MEDAN 2010.

LAMPIRAN

Lampiran Data Pengujian Tarik


LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

Spesimen UHM WPE

No.	Kode Spesimen	Teg. Max (σ_U) (MPa)	Regangan (ϵ) (%)
1	Konvensional	32.78	179.7
2		28.33	159.3
3		28.33	154.5
4	Radiasi 50 Kgy	26.67	100.0
5		27.78	101.0
6		26.11	103.9
7	Radiasi 75 Kgy	26.11	110.9
8		28.33	115.5
9		27.22	99.0
10	Radiasi 100 Kgy	27.78	98.2
11		26.67	73.9
12		28.33	112.1

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan :

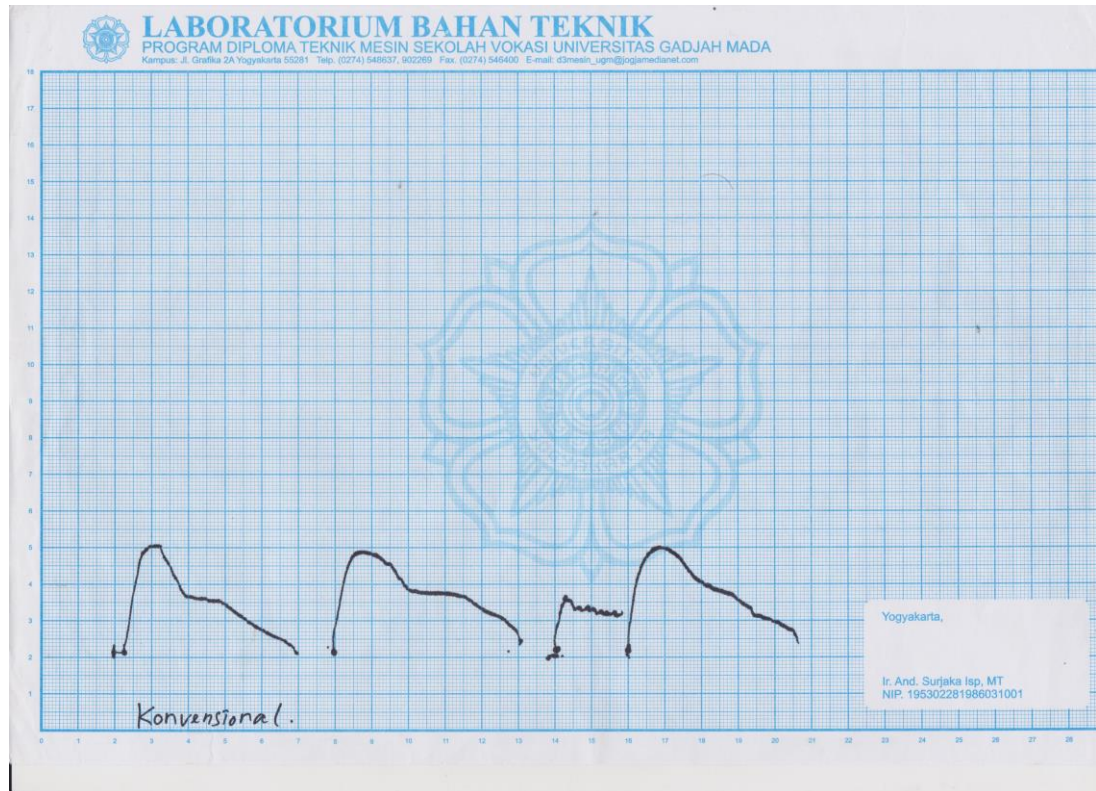
1. Spesimen mengacu pada standar ASTM D 638 Type 4
2. Pengujian dilakukan pada tanggal 2 Desember 2014

Penguji & Analisa Material

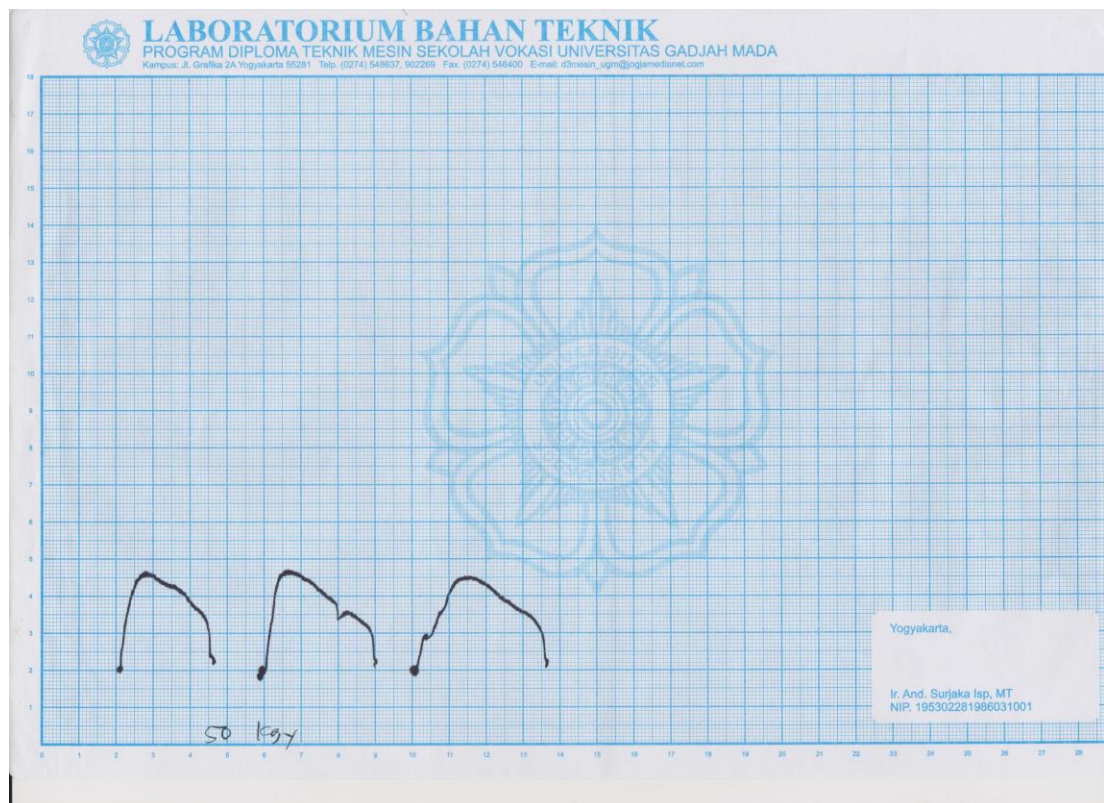
Lab. Bahan Teknik
Diploma Teknik Mesin
Fak. Teknik UGM

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telepon : (0274) 7476432, 548637, 6492269. Fax. (0274) 546400
E-mail: lab.bahanteknik@yahoo.co.id

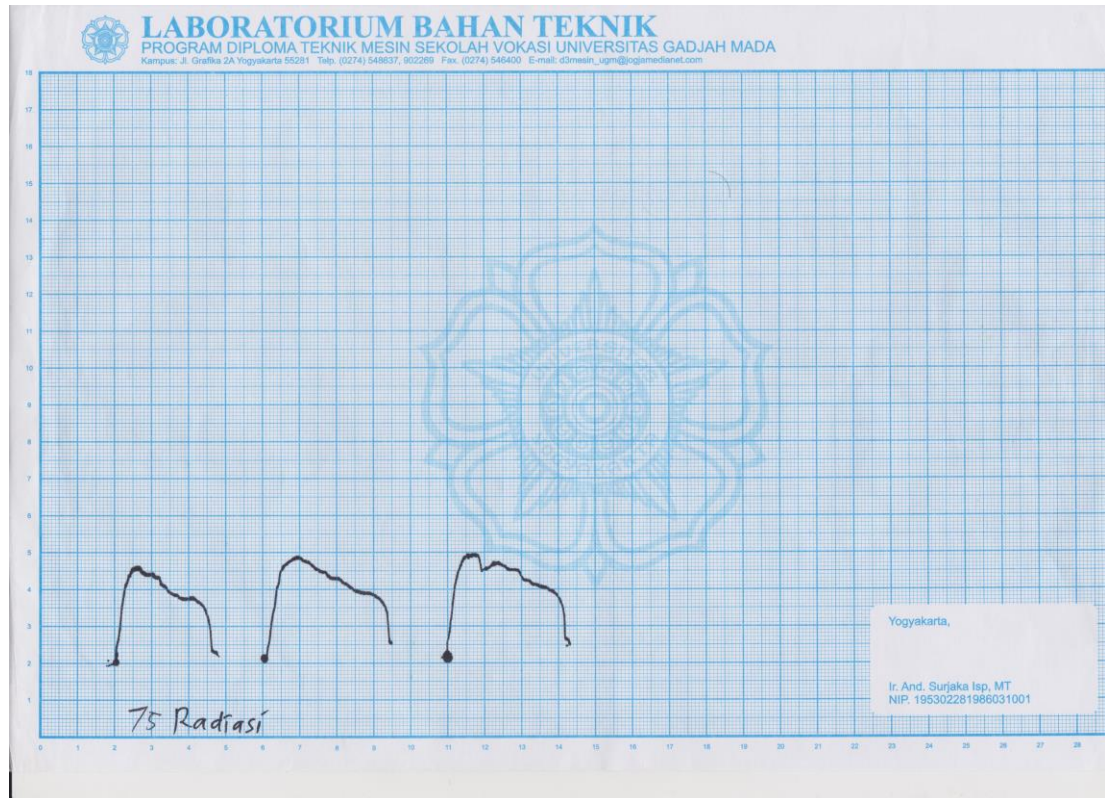
Grafik Pengujian Tarik UHMWPE Konvensional



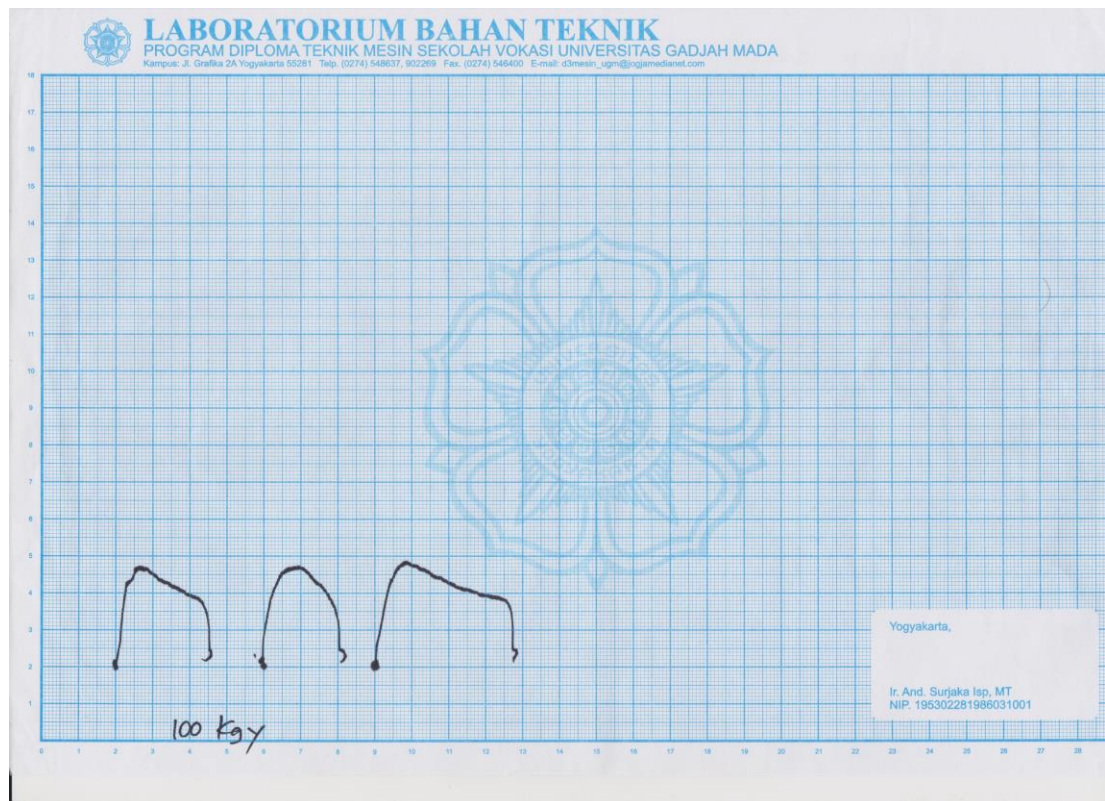
Grafik Pengujian Tarik UHMWPE Crosslinked 50 kGy



Grafik Pengujian Tarik UHMWPE *Crosslinked* 75 kGy



Grafik Pengujian Tarik UHMWPE *Crosslinked* 100 kGy



Lampiran Laporan Pengujian *Impact*



No. Laporan : 1445225781
Hal. 1/2

Laporan Pengujian

No. Laporan : 1445225781 No Order : 1442195261 Tanggal : 19 - 10 - 2015

Nama Pelanggan : Universitas Islam Indonesia - FTI
Jl. Kaliurang Km. 14,5
Jogjakarta

Kontak Person : Bapak Suyatna Arian Wibowo

Nama Sampel : 1. UHMWPE Konvensional
2. UHMWPE 50 KGY
3. UHMWPE 75 KGY
4. UHMWPE 100 KGY

Penerimaan Sampel : 7 Oktober 2015

Tanggal Pengujian : 9-15 Oktober 2015

Jenis Pengujian : Izod Impact Notched Test (ASTM D256-10)

I. KONDISI PENGUJIAN

1. Tensile Test

Tabel 1. Kondisi dan Parameter Pengujian Izod Impact Notched

No.	Item	Kondisi
1.	Standard Uji	ASTM D ASTM D256-10
2.	Spesimen Uji	65 x 13 x 4 mm sudah disiapkan oleh Pelanggan
3.	Pengkondisian sampel sebelum Uji	Temperatur : 23°C Kelembaban : 50% Durasi : 48 jam
4.	Kondisi Ruang Uji	Temperatur : 22.2°C Kelembaban : 49.6%
5.	Parameter Uji	Kecepatan Impact : 3.46 m/sec Energi Pendulum : 2 J dan 2.75 J Hasil : <i>Impact strength</i>
6.	Alat Uji	Resil Impactor Ceast

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di STP, segala pengaduan sehubungan dengan pelayanan dapat disampaikan ke Manajer Mutu STP; dilarang mengandakan laporan ini tanpa persetujuan tertulis dari STP.

F-015;Ed.C;Rev.0

SENTRA TEKNOLOGI POLIMER - BPPT

Gedung 460, Kawasan PUSPIITEK Tangerang Selatan 15314 - Banten Indonesia

Telp. (021) 756 3360 (Hunting) Fax. (021) 756 0057

Email. stpoffice@sentrapolimer.com www.sentrapolimer.com



Hasil Pengujian *Impact*



No. Laporan : 1445225781
Hal. 2/2

II. HASIL PENGUJIAN

Hasil pengujian *Izod Impact* terlihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Izod Impact*

No.	Jenis Sampel	Izod Impact Strength (J/m)
1.	UHMWPE Konvensional	85.57 ± 17.85
2.	UHMWPE 50 KGY	143.10 ± 12.61
3.	UHMWPE 75 KGY	179.75 ± 5.22
4.	UHMWPE 100 KGY	195.78 ± 5.05

Manajer Pengujian


STP
SENTRA TEKNOLOGI POLIMER
Syuhada

ORIGINAL

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di STP, segala pengaduan sehubungan dengan pelayanan dapat disampaikan ke Manajer Mutu STP; dilarang menggandakan laporan ini tanpa persetujuan tertulis dari STP.

F-015;Ed:C;Rev:0

SENTRA TEKNOLOGI POLIMER - BPPT

Gedung 460, Kawasan PUSPIPEK Tangerang Selatan 15314 - Banten Indonesia

Telp. (021) 756 3360 (Hunting) Fax. (021) 756 0057

Email. stpoffice@sentrapolimer.com www.sentrapolimer.com



TÜVRheinland
CERT
ISO 9001

Data Keseluruhan Pengujian *Impact* UHMWPE Konvensional



IZOD IMPACT NOTCHED TEST

Date of testing : 15 Oktober 2015
 Order Number : 1442195261
 Order from : ABD
 Material Tested : UHMWPE Konvensional #1200
 Humidity : 49.6 %
 Temp. : 22.2 °C
 Methode : ASTM D 256 Determination of Izod impact properties
 Methode of tested : Notched / ~~Un-notched~~
 Velocity of Impact : 3.46 m/sec
 Pendulum Energy : 2 J
 Correction Energy : 0.016 J
 Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygraph : -

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Izod Impact Strength (J/m)	Type of failure
1	10.16	3.44	0.997	0.981	96.555	H
2	10.09	3.40	1.032	1.016	100.694	H
3	10.20	3.37	0.712	0.696	68.235	H
4	10.17	3.35	0.849	0.833	81.908	H
5	10.10	3.36	0.799	0.783	77.525	H
6	10.14	3.23	0.756	0.740	72.978	H
7	10.2	3.40	0.685	0.669	65.588	H
8	10.15	3.21	0.829	0.813	80.099	H
9	10.14	3.22	0.900	0.884	87.179	H
10	10.15	3.21	1.284	1.268	124.926	H
Mean					85.569	
Standard Deviation					17.849	
Standard Deviation (%)					21%	

H : Patah tidak sempurna

Pemeriksa

 ABD

Operator

 HKM

Data Keseluruhan Pengujian *Impact* UHMWPE crosslinked 50 kGy



IZOD IMPACT NOTCHED TEST

Date of testing : 15 Oktober 2015
 Order Number : 1442195261
 Order from : ABD
 Material Tested : UHMWPE 50 KGY #1201
 Humidity : 49.6 %
 Temp. : 22.2 °C
 Methode : ASTM D 256 Determination of Izod impact properties
 Methode of tested : Notched / ~~Un-notched~~
 Velocity of Impact : 3.46 m/sec
 Pendulum Energy : 2 J
 Correction Energy : 0.016 J
 Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygraph : -

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Izod Impact Strength (J/m)	Type of failure
1	10.2	3.15	1.270	1.254	122.941	H
2	10.19	3.14	1.460	1.444	141.708	H
3	10.20	3.16	1.429	1.413	138.529	H
4	10.18	3.18	1.469	1.453	142.731	H
5	10.21	3.16	1.398	1.382	135.357	H
6	10.22	3.27	1.469	1.453	142.172	H
7	10.16	3.16	1.483	1.467	144.390	H
8	10.1	3.23	1.763	1.747	172.970	H
9	10.14	3.25	1.443	1.427	140.730	H
10	10.13	3.17	1.530	1.514	149.457	H
Mean					143.099	
Standard Deviation					12.605	
Standard Deviation (%)					9%	

H : Patah tidak sempurna

Pemeriksa

 ABD

Operator

 HKM

Data Keseluruhan Pengujian *Impact* UHMWPE crosslinked 75 kGy



IZOD IMPACT NOTCHED TEST

Date of testing : 15 Oktober 2015
 Order Number : 1442195261
 Order from : ABD
 Material Tested : UHMWPE 75 KGY #1202
 Humidity : 49.6 %
 Temp. : 22.2 °C
 Methode : ASTM D 256 Determination of Izod impact properties
 Methode of tested : Notched / ~~Un-notched~~
 Velocity of Impact : 3.46 m/sec
 Pendulum Energy : 2.75 J
 Correction Energy : 0.018 J
 Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygraph : -

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Izod Impact Strength (J/m)	Type of failure
1	10.17	3.18	1.832	1.814	178.368	H
2	10.20	3.16	1.863	1.845	180.882	H
3	10.21	3.18	1.959	1.941	190.108	H
4	10.24	3.18	1.873	1.855	181.152	H
5	10.18	3.19	1.830	1.812	177.996	H
6	10.17	3.18	1.810	1.792	176.205	H
7	10.16	3.18	1.780	1.762	173.425	H
8	10.14	3.17	1.802	1.784	175.937	H
9	10.15	3.21	1.809	1.791	176.453	H
10	10.11	3.17	1.908	1.890	186.944	H
Mean					179.747	
Standard Deviation					5.220	
Standard Deviation (%)					3%	

H : Patah tidak sempurna

Pemeriksa

 ABD

Operator

 HKM

Data Keseluruhan Pengujian *Impact* UHMWPE crosslinked 100 kGy



IZOD IMPACT NOTCHED TEST

Date of testing : 15 Oktober 2015
 Order Number : 1442195261
 Order from : ABD
 Material Tested : UHMWPE 100 KGY #1203
 Humidity : 49.6 %
 Temp. : 22.2 °C
 Methode : ASTM D 256 Determination of Izod impact properties
 Methode of tested : Notched / ~~Un-notched~~
 Velocity of Impact : 3.46 m/sec
 Pendulum Energy : 2.75 J
 Correction Energy : 0.018 J
 Equipment : Impact tool : Resil Impactor CEAST
 Micrometer : Preisser Digi-Met ID-NR 150994129
 Thermohygraph : -

No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Impact Energy (Joule)	Corrected Energy (Joule)	Izod Impact Strength (J/m)	Type of failure
1	10.08	3.24	1.931	1.913	189.782	H
2	10.24	3.25	2.132	2.114	206.445	H
3	10.10	3.24	1.968	1.950	193.069	H
4	10.16	3.24	2.015	1.997	196.555	H
5	10.25	3.24	2.019	2.001	195.220	H
6	10.19	3.23	2.011	1.993	195.584	H
7	10.19	3.24	1.990	1.972	193.523	H
8	10.12	3.24	1.943	1.925	190.217	H
9	10.20	3.23	2.076	2.058	201.765	H
10	10.16	3.23	2.006	1.988	195.669	H
Mean					195.783	
Standard Deviation					5.054	
Standard Deviation (%)					3%	

H : Patah tidak sempurna

Pemeriksa

 ABD

Operator

 HKM

Lampiran Data Pengujian Kekerasan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

No. 214 / P.Kkr / BT.DTM / 2017

Spesimen UHM WPE

No	Kode	Posisi titik uji	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _{rata-rata} (mm)	Kekerasan (VHN)
1	Konvensional	Acak	0.95	1.00	0.975	5.85
			1.04	1.05	1.045	5.09
			1.05	1.05	1.050	5.05
2	50 KGy	Acak	1.00	1.00	1.000	5.56
			1.05	1.05	1.050	5.05
			1.08	1.07	1.075	4.81
3	75 KGy	Acak	1.01	1.01	1.010	5.45
			1.02	1.05	1.035	5.19
			1.08	1.10	1.090	4.68
4	100 KGy	Acak	1.05	1.03	1.040	5.14
			1.06	1.04	1.050	5.05
			1.04	1.05	1.045	5.09

Keterangan :

1. Menggunakan metode uji Vickers dengan pembebanan 3 kgf
2. Satuan pengukuran diagonal jejak indenter dalam mm
3. Pengujian dilakukan pada tanggal 29 November 2017



Yogyakarta, 29 November 2017
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Puji Priyana, SST.
NIP. 196704101999031002